

FUEGO

En los ecosistemas argentinos

Carlos R. Kunst, Sandra Bravo, José L. Panigatti (Ed.)



■ Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



634.0.43 Fuego en los ecosistemas argentinos / Carlos Kunst,
F95 Sandra Bravo y José Luis Panigatti editores.
Santiago del Estero : Ediciones INTA, 2003.
332 p. : il., gráficos, cuadros

ISBN Nº 987-521-084-6

ECOLOGIA DEL FUEGO INCENDIOS FORESTALES FAUNA FLORA
PASTIZAL NATURAL FUEGO PRESCRIPTO REGION CHAQUEÑA

INTA - DDIB

FUEGO EN LOS ECOSISTEMAS ARGENTINOS

INTA, EEA Santiago del Estero Jujuy 850 (4200) Santiago del Estero

Kunst, Carlos R. *ckunst@correo.inta.gov.ar*
Bravo, Sandra *sjbravo@arnet.com.ar*
Panigatti, José L. *panigat@correo.inta.gov.ar*

Fotos de tapa:
Carlos R. Kunst

Para citar esta publicación:
Kunst CR, Bravo S, Panigatti JL. (Ed.) 2003. Fuego en los Ecosistemas Argentinos. INTA. Santiago del Estero. 332 p.

Agradecimientos: *Bogado, Asunción; González, Irma; Ponti, Liliana; Roldán, Silvia;*
y a toda la gente que hizo posible este libro.

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su almacenamiento en un sistema informático, ni su transmisión en cualquier formato o por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia u otros métodos, sin el permiso previo del editor.

Santiago del Estero - Argentina

2003

FUEGO

En los ecosistemas argentinos

Carlos Kunst, Sandra Bravo y José L. Panigatti (editores)



Santiago del Estero - Argentina

2003

INDICE

Prólogo	5
Capítulo 1	11
Testimonios: el fuego en la historia y comentarios argentinos <i>Carlos Kunst</i>	
Capítulo 2	17
Introducción a la ecología del fuego <i>Guillermo Defossé y M. Florencia Urretavizcaya</i>	
Capítulo 3	27
Meteorología y el manejo del fuego <i>María del Carmen Dentoni</i>	
Capítulo 4	39
Fuego, calor y temperatura <i>Carlos Kunst y Sandra Bravo</i>	
Capítulo 5	47
El fuego y el suelo <i>Ada Albanesi y Analía Anriquez</i>	
Capítulo 6	61
El fuego y las plantas <i>Sandra Bravo, Ana María Giménez, Carlos Kunst y Graciela Moglia</i>	
Capítulo 7	71
El fuego y la vegetación del sur del Caldenal <i>Daniel V. Peláez, Roberto M. Bóo y Mirta D. Mayor</i>	
Capítulo 8	79
Regímenes de fuego en el gradiente bosque-estepa del noroeste de Patagonia: variación espacial y tendencias temporales <i>Thomas Kitzberger</i>	
Capítulo 9	93
Desde el <i>Paspaletum</i>: bases ecológicas para el manejo de pajonales húmedos con quemas prescriptas. <i>Pedro Laterra</i>	
Capítulo 10	109
Ecología y régimen de fuego en la región chaqueña argentina <i>Carlos Kunst y Sandra Bravo</i>	
Capítulo 11	119
Efectos del fuego sobre la fauna silvestre <i>Aníbal F. Parera</i>	
Capítulo 12	133
Reconstrucción de historias de fuego en bosques mediante técnicas dendrocronológicas <i>Andrea Medina</i>	
Capítulo 13	145
Los incendios forestales como modeladores del paisaje en la región chaqueña <i>Pablo Herrera, Sebastián Torrella y Jorge Adámoli</i>	

Capítulo 14	157
El fuego y el crecimiento de <i>Prosopis nigra</i>	
<i>Ana María Giménez</i>	
Capítulo 15	167
El fuego en la porción austral de la región del Monte	
<i>Guillermo Defossé, César Rostagno, Héctor del Valle</i>	
<i>y María Dentoni</i>	
Capítulo 16	181
Ecología del fuego en los ecosistemas montanos superiores del subtropico	
<i>Héctor Ricardo Grau</i>	
Capítulo 17	189
Comportamiento del fuego: una introducción.	
<i>Carlos Kunst y Norberto Rodríguez</i>	
Capítulo 18	199
Fuego prescripto.	
<i>Carlos Kunst y Norberto Rodríguez</i>	
Capítulo 19	217
Cuantificación del material combustible	
<i>Norberto Rodríguez y Miriam Muñoz</i>	
Capítulo 20	225
Fuego prescripto en plantaciones de pino	
<i>Carlos Kunst, Norberto Rodríguez y José A. Maldonado</i>	
Capítulo 21	239
El fuego y el manejo de pasturas naturales y cultivadas en la región chaqueña.	
<i>Carlos Kunst, Sandra Bravo, Eliseo Monti, Mónica Cornacchioney y José Godoy.</i>	
Capítulo 22	249
Fuego prescripto en pastizales naturales de la Pampa Deprimida Bonaerense	
<i>Mónica Sacido</i>	
Capítulo 23	259
El fuego en la provincia de La Pampa	
<i>Enrique M. Llorens y Ernesto O. Frank</i>	
Capítulo 24	269
Control de incendios	
<i>Norberto Rodríguez</i>	
Capítulo 25	277
Los fuegos en los Parques Nacionales: de la exclusión al manejo	
<i>Juan Salguero y Sergio Rusak</i>	
Capítulo 26	285
Encuadre jurídico del fuego prescripto	
<i>María Adriana Victoria</i>	
Capítulo 27	313
Percepción remota y SIG para el estudio del fuego	
<i>Hugo Raúl Zerda</i>	
Capítulo 28	327
El Manejo del fuego en la política ambiental	
<i>Carlos Merenson</i>	

PRÓLOGO

El fuego prescripto es una herramienta, no una piromanía, de posible aplicación en variados ambientes y sistemas productivos, cuyo uso puede apoyarse en la necesidad de renovar pasturas, facilitar la siembra, el rebrote de especies nativas o introducidas, disminuir la disponibilidad peligrosa de material combustible y varias otras aplicaciones que justifiquen ampliamente su ejecución.

La existencia de quemas producidas en forma natural están documentadas y preceden la presencia del hombre en múltiples ambientes, además coincido con la Administración de Parques Nacionales (APN) que "Avasalladores procesos ecológicos, como inundaciones y fuegos naturales, continúan modelando el paisaje y tratan de mantener indomable el temperamento montañés de la llanura chaqueña".

El ser humano trajo innumerables cambios en los ambientes que fue ocupando y utilizando y, además, produjo alteraciones en las frecuencias de las quemas que afectaron y afectan directamente los ambientes antropizados. La trascendencia actual de los incendios muchas veces está más ligado a razones políticas o afectivas que a su impacto económico o productivo. Esto es tan cierto y de actualidad que se puede ejemplificar y así, mencionar la presencia de estas noticias en la tapa de algunos diarios cuando se incendia (con fuego intencional) una hectárea de la denominada "Reserva Ecológica" de la ciudad de Buenos Aires, o algunas decenas de hectáreas de bosque nativo en los Parques Nacionales (ej. Nahuel Huapi). Como contraparte ya no es noticia que alarma, sorprende o impacta que nuestro país tiene más de 50 millones de hectáreas erosionadas en los suelos de todas las provincias y, además, que este valor sigue en aumento anualmente con un impacto irreversible por las pérdidas de materiales, potencial productivo y lucro cesante.

Esta comparación, que puede sorprender a algunos y parecer de escasa relación con este libro, tiene otra connotación. Deseo afirmar que el público que recibe este tipo de infor-

mación sobre los ambientes naturales y/o antropizados, se va sensibilizando, concientizando y educando sobre las acciones voluntarias del hombre en lugares públicos muy conocidos. El tener información y conocer los efectos tanto destructivos como benéficos del fuego tiene su trasfondo positivo y puede sensibilizar al no involucrado directamente en el tema. El objetivo de esta rara comparación, y por sobre todo de este libro, es poner al fuego y su manejo a voluntad por el hombre (fuego prescripto), en un lugar apropiado, el de brindar información e intercambio de ideas para una mejor toma de decisiones.

Esta tarea la tomamos como una asignatura pendiente con la voluntad de brindar conocimientos disponibles, pero de difícil acceso para los no involucrados. Volviendo a la comunicación y la comparación puedo repetir con Julián Marías que "...los medios de comunicación, con un influjo actual inmenso, proporcionan una imagen cuyo volumen es inverso al grado de realidad que las cosas poseen".

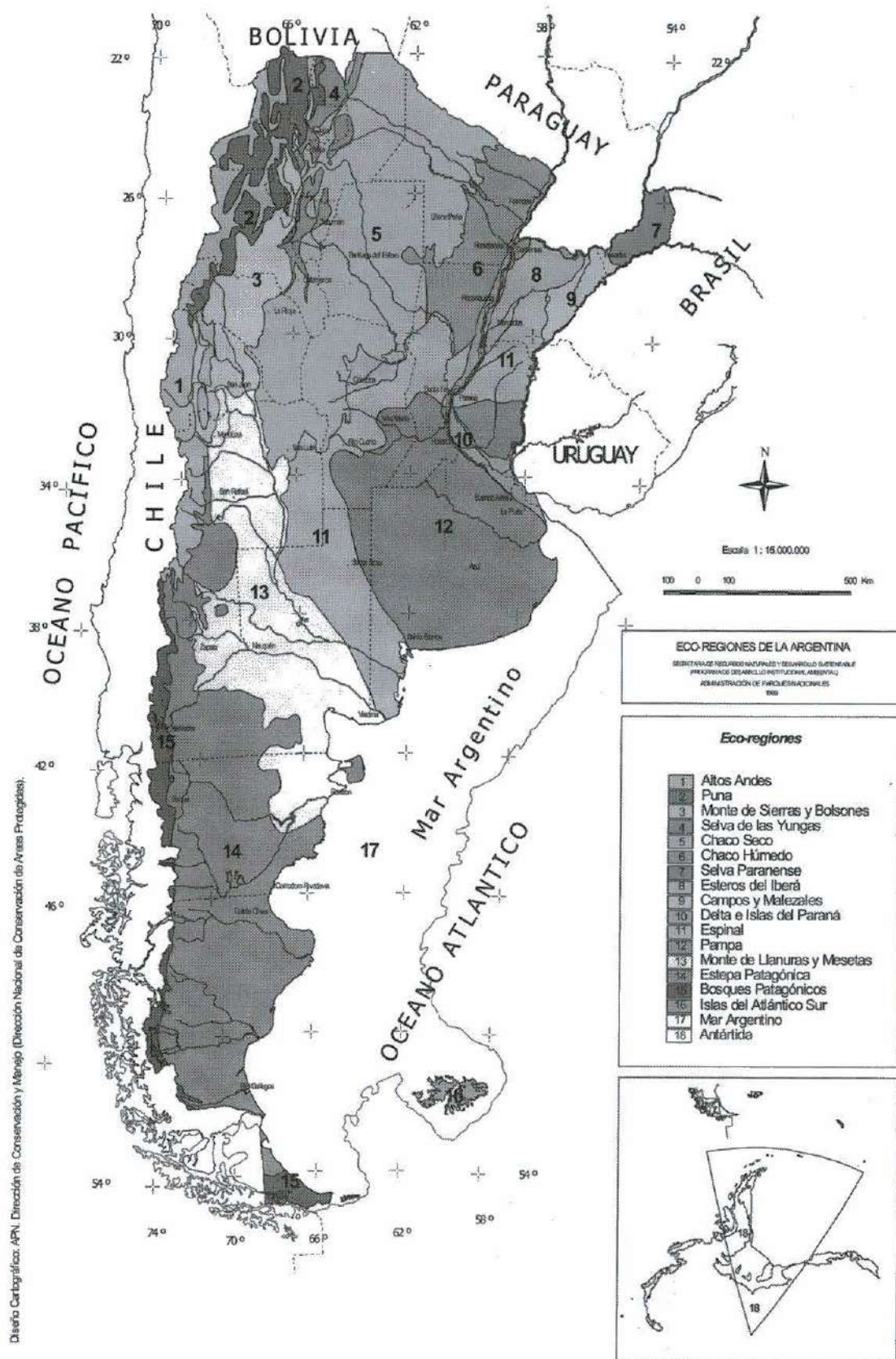
Es de esperar que esta obra se transforme en un material de consulta en todas las casas de estudio que tratan con los RRNN y los sistemas productivos, que si bien no todos deben o pueden usar el fuego prescripto como una herramienta más, los aportes teóricos y ejemplos aquí brindados seguramente ampliarán su visión y mejorarán sus conocimientos.

Las áreas con procesos de desertificación son las que tienen climas con diversos grados de ari-



Erosión eólica (San Luis) foto: J.L.Panigatti (2002)

ECO-REGIONES DE LA ARGENTINA



dez y, por ello, están más propensas a los fuegos naturales y pueden facilitar y necesitar a los prescritos. La falta de control de los incendios puede redundar en la pérdida de condiciones productivas de un área y dejar avanzar un proceso de desertificación que, por lo previsible, se puede evitar o minimizar porque existen herramientas probadas y económicas para ponerlas en práctica. El fuego prescrito es un medio útil para manejar y mejorar los sistemas de producción agropecuaria o silvopastoriles.

La importancia de esta obra se basa en que pone a disposición de los potenciales usuarios una gran información teórica y práctica sobre los ambientes y condiciones propicias para el uso del fuego. Esto se ha logrado por la participación de numerosos especialistas que respondieron a esta convocatoria de poner sus conocimientos e ideas para compartirlas y difundirlas en forma conjunta en esta edición.

La convocatoria de especialistas fue una tarea sencilla por la voluntad y predisposición encontrada en los responsables de cada capítulo para brindar sus logros y tiempo, con el ideal de

ponerlo a disposición de los usuarios sin pedir algo a cambio, que si bien es muy común en los investigadores también es digno de destacar. Esta obra permite poner al día la información para que aquellos que la necesiten, la dispongan actualizada, ordenada e interpretada para su uso en la producción agropecuaria y forestal, control de la desertificación y tender al desarrollo con equidad y una producción segura y en aumento.

Finalmente puedo afirmar que la cobertura geográfica de estos aportes es muy amplia y si comparamos esta oferta con las Eco-regiones que se presentan en el mapa de la APN (Pag. 6), apreciamos que la información teórica cubre todo el territorio y los resultados prácticos y áreas de aplicación se extienden a todas las unidades salvo las que integran la Mesopotamia.

Ing. Agr. José Luis Panigatti Ph.D.
INTA-Coordinador
Proyecto Nacional
Control de Desertificación

Reserva ecológica (Buenos Aires) Foto: J.L. Panigatti (2003)



Listado de Autores

Adámoli, Jorge: Ingeniero Agrónomo. Laboratorio de Ecología Regional, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, PAB. II, Ciudad Universitaria, (1428) Bs. Aires. e-mail: jorge@bg.fcen.uba.ar

Albanesi, Ada: Ingeniera Agrónoma, MSc. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano (sur) 1912, (4200) Santiago del Estero. e-mail: albanesi@unse.edu.ar

Anriquez Analía: Ingeniera Agrónoma. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano (sur) 1912, (4200) Santiago del Estero.

Bóo, Roberto: Ingeniero Agrónomo, PhD. Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, (8000) Bahía Blanca, Bs. Aires. e-mail: pnboo@criba.edu.ar

Bravo, Sandra: Licenciada en Biología. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano (sur) 1912, (4200) Santiago del Estero. e-mail: sjbravo@arnet.com.ar

Cornacchione, Mónica: Ingeniera Agrónoma. Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero, INTA, Jujuy 850, (4200) Santiago del Estero. e-mail: mcornacchione@correo.inta.gov.ar

Defosse, Guillermo Emilio: Ingeniero Agrónomo, PhD. Centro de Investigación Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Sede Esquel, CC 14, (9200) Esquel, Chubut. e-mail: defosse@ciefap.cyt.edu.ar

Del Valle, Héctor: Ing. Agr. Centro Nacional Patagónico (CENPAT – CONICET), Boulevard Brown s/n, (9120) Puerto Madryn, Chubut. e-mail: delvalle@cenpat.edu.ar

Dentoni, María del Carmen : Licenciada. Plan Nacional Manejo de Fuego, Area de Meteorología y Comportamiento del Fuego, (SAyDS) y Universidad Nacional de la Patagonia, Sede Esquel, (9200) Esquel, Chubut. e-mail: manejodelfuego@ciudad.com.ar

Frank, Ernesto: Ingeniero Agrónomo, M.S. Agencia de Extensión Rural Victorica, INTA, Calle 15 n° 1475, (6319) Victorica, La Pampa. e-mail: efrank@cpenet.com.ar

Grau, Héctor : Ingeniero Agrónomo, PhD. Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, (4000) San Miguel de Tucumán. e-mail: liey@tucbbs.com.ar

Godoy, José: Ayudante Técnico. Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero, INTA Jujuy 850 (4280) Santiago del Estero.

Herrera, Pablo : Laboratorio de Ecología Regional, Facultad de Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, PAB. II, C. Universitaria, (1428) Bs. Aires.

Giménez, Ana María: Ingeniera Forestal, Dra. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano (sur) 1912, (4200) Santiago del Estero. e-mail: amig@unse.edu.ar

Kitzberger, Thomas: Dr. Laboratorio Ecotono-CRUB, Universidad Nacional del Comahue, Quintral 1250, (8400) Bariloche, Río Negro. e-mail: tkitzber@crub.uncoma.edu.ar

Kunst, Carlos: Ingeniero Agrónomo, PhD. Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero, INTA. Jujuy 850, (4200) Santiago del Estero. e-mail: ckunst@correo.inta.gov.ar

Laterra, Pedro: Dr. en Biología. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, EEA Balcarce, INTA. CC 276, (7620) Balcarce, Bs. Aires. e-mail: platterra@balcarce.inta.gov.ar

Llorens, Enrique: Ingeniero Agrónomo. Delegación Victorica, Dirección de Extensión Agropecuaria, La Pampa. Calle 22 n° 1082, (6319) Victorica, La Pampa. e-mail: ellorens@cevic.com.ar

Maldonado, José Alberto: Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano (sur) 1912, (4200) Stgo. del Estero.
e-mail: jamaldonado@arnet.com.ar

Mayor, Mirta: Ingeniera Agrónoma, M.Sc. Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, (8000) Bahía Blanca, Bs. Aires. e-mail: mmayor@criba.edu.ar

Medina, Andrea: Ingeniera Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. e-mail: andrepampa@hotmail.com

Merenson, Carlos: Ingeniero Forestal. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. San Martín 459, (1004) Buenos Aires. e-mail: cmerenson@medioambiente.gov.ar

Moglia, Graciela: Ingeniera Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero Av. Belgrano (Sur) 1912, (4200) Santiago del Estero.

Monti, Eliseo: Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Agencia de Extensión Rural Frías, Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero, INTA, Jujuy 850, (4200) Santiago del Estero.
e-mail: intafrias@ocanet.com.ar

Muñoz, Miriam Marcela: Ingeniera Forestal. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. e-mail: manejobelfuego@ciudad.com.ar

Panigatti, José Luis: Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph. D. Dirección Nacional Asistente de Planificación, INTA, Alsina 1407, (1088) Buenos Aires e-mail: panigat@correo.inta.gov.ar

Parera, Anibal: Licenciado en Biología. Fundación Vida Silvestre Argentina y Administración de Parques Nacionales, Av. Santa Fe 690, (1059) Bs. Aires e-mail: aaparera@mail.retina.ar

Peláez, Daniel: Ingeniero Agrónomo. M.Sc. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida y Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, (8000) Bahía Blanca, Bs. Aires.
e-mail: dpelaez@criba.edu.ar

Rodríguez, Norberto F.: Ingeniero Forestal, MSc. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP). CC 14, (9200) Esquel, Chubut. e-mail: norberto@ciefap.cyt.edu.ar

Rostagno, César: Ingeniero Agrónomo, PhD. Facultad de Ingeniería, Universidad de la Patagonia Sede Esquel, (9200) Esquel, Chubut. e-mail: rostagno@cenpat.edu.ar

Rusak, Sergio: Guardaparque. Parque Nacional Nahuel Huapi, Administración de Parques Nacionales, San Martín 24, (8400) Bariloche, Río Negro. e-mail: pnint@bariloche.com.ar

Sacido, Mónica: Ingeniera Agrónoma, M.S. Facultad de Agronomía de Azul, Universidad Nacional del Centro, Int. Giraut s/n - C.C. 178, (7300) Azul, Buenos Aires.
e-mail: msacido@faa.unicen.edu.ar

Salguero, Juan: Licenciado en Ciencias Biológicas. Administración de Parques Nacionales, San Martín 24, (8400) Bariloche, Río Negro. e-mail: pnint@bariloche.com.ar

Torrella, Sebastián: Laboratorio de Ecología Regional, Facultad de Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, PAB. II, C. Universitaria, (1428) Bs. Aires. e-mail: sebasat02@yahoo.com.ar

Urretavizcaya, María Florencia: Ingeniera Forestal. Becario Doctoral de CONICET - CIEFAP y Universidad Nacional del Comahue. e-mail: urretaf@ciefap.cyt.edu.ar

Victoria, María Adriana: Dra. Universidad Nacional de Santiago del Estero y Universidad Católica de Santiago del Estero. Av. Belgrano (sur) 1912, (4200) Santiago del Estero.
e-mail: mariaadriana victoria@arnet.com.ar

Zerda, Hugo: Ingeniero Forestal, Dr. Universidad Católica de Santiago del Estero.
e-mail: hzerda@netscape.net.

Capítulo 1

Testimonios: el fuego en la historia y comentarios argentinos

Carlos Kunst¹



Huyendo del Malón. Oleo: Franklin Rawson

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Estación Experimental Agropecuaria Sgo del Estero, Jujuy 850, 4200 Sgo del Estero, Argentina. e-mail: ckunst@correo.inta.gov.ar

1. Introducción

Existe en general cierta controversia sobre si el fuego era un fenómeno común en muchos ecosistemas de la Argentina. El estudio y análisis de relatos y testimonios históricos es una manera válida de estudiar el fenómeno fuego desde un punto de vista científico. Sin pretender ser exhaustivos, a continuación se transcriben testimonios sobre el tema que a lo largo del tiempo, han emitido viajeros, naturalistas, soldados y escritores que recorrieron el vasto territorio argentino durante los siglos. En otros capítulos de este libro se encuentran detallados más testimonios. La interpretación relacionada con ecología del fuego, frecuencia de fuegos, etc., queda a cargo del lector. La lista no es completa, solo pretende ilustrar la presencia del fenómeno.

2. Testimonios y relatos

[Testimonios 1 a 4 recolectados por el Sr. Pablo Cansanello, Parque Nacional 'El Palmar', Entre Ríos, a fin de buscar antecedentes relacionados al fuego en la zona].

1. Ignacio Chome 26/9/1730.

Carta fechada en Corrientes. Viaja de Buenos Aires a Corrientes.

El viaje comenzó el 18/8/1730 y duró 13 días.

'...Además de los ardores del sol, continuamente los bárbaros incendiaban los bosques para hacer salir de su interior a los tigres, cuya carne aprovechaban como alimento. Alguna vez estuvimos casi rodeados por el fuego y otros debimos marchar sobre tierra aún humeante. En alguna ocasión tuvimos que detener la marcha para evitar que las llamas nos cortaran el paso. Solamente cuando alcanzábamos un riacho bastante ancho nos encontrábamos en seguridad'

2. Felix de Azara - 1784:

Viaja de Buenos a Asunción, en diciembre.

'...que es la estancia de Félix Troncoso (posta del arroyo Alcaraz) ...y luego hasta La Dormida es todo un continuo algarrobal en muchas partes quemado'.

'...Desde la bajada de Santa Fé hasta aquí (arroyo Hondo) anduvimos mucho entre bosques todos de algarrobos y espinillos. De su disposición y los raigones que retoñan se infiere con bastante fundamento que todos estos países han sido, no ha mucho tiempo, un bosque

continuo que las quemazones han destruido y en breve acabarán con lo que queda. Lo mismo se puede inferir desde mi salida de Buenos Aires. La calidad y disposición de los terrenos es la misma y algunos indicios se manifiestan que todo arguya la existencia del continuo bosque. Donde vive el hombre, ni árboles, ni plantas, ni animales quedan.'

'Los indios queman para cazar y matar yaguaretés'.

3. Arsenio Isabelle - 1833.

Viaje a Argentina y Brasil. Noticia biográfica del autor por Ernesto Morales. Editorial Americana, 1943, 454 p. Buenos Aires.

Su paso por lo que hoy es el Parque Nacional El Palmar, Entre Ríos:

'El río tenía árboles verdes y tupidos. Pasado ese cinturón, el terreno es llano y arenoso con palmeras aisladas en grupos de 3 ó 4. Las aves de rapiña planeaban en un vasto campo incendiado en la víspera...acechaban en troncos recalentados de las palmeras la salida de los insectos obligados por el incendio'.

.....

'En los lugares bajos y pantanosos nacen altas gramíneas de especies variadas, juncos, pajas cortantes, etc., que los españoles del país llaman pajonales. Incluso las altas llanuras, sobre todo en lugares desiertos, poco frecuentados por el ganado, están cubiertos por estos pajonales que representan bastante bien a nuestros campos de cereales en la época de cosecha. Pero en lugares donde hay ganado se tiene gran cuidado en incendiar los campos en la época en que la hierba seca solo da un pasto árido, con el fin que nazca césped tierno y nutritivo; esta operación debe destruir, necesariamente una gran cantidad de plantas delicadas'.

4. Günther Lorentz - 1876.

'...las plantas se convierten en polvo y los pajonales ya secos se encienden por una centella y el habitante del Uruguay percibe desde su azotea en todas partes durante la noche lugares rojos de fuego que elevan al cielo y durante el día densas nubes de humo'.

[Testimonios coleccionados por el autor de este Capítulo]

5. William Henry Hudson - 1920.

'Aves del Plata'. Descripción parcial del *Milvago chimango* (chimango) Traducción y notas de Herminia M. de Gollán y José S. Gollán. Libros de Hispanoamérica, 1984.

'En las pampas desérticas, en donde los cazadores indios y europeos tienen gran afición

por encender el pasto seco, en el momento que el humo de un fuego distante es visto por los chimangos, vuelan enseguida para allá a fin de seguir el incendio. En esos momentos, están muy animados, precipitándose a través de nubes de humo, banqueteándose entre cenizas calientes con los tucu-tucu y otros pequeños mamíferos asados y persiguiendo con audacia a los chamsucados fugitivos de las llamas'

6. La Gaceta, Tucumán, 20/08/2002.

Sección 'Apenas Ayer', por Carlos Paéz de la Torre (h).

...Cuenta Juan Alfonso Carrizo que los viejos tucumanos le refirieron que el de 1861 fue un verano seco, 'a tal punto que los campos quedaron hechos yescas, y al menor descuido se incendiaban los pajonales, y las llamas, llevadas por el viento, eran lenguas de fuego que corrían destruyendo todo'. En Monteros esas lenguas de fuego 'cruzaban los ríos Romano y Pueblo Viejo como si se tratara de angostas acequias'. El afilgente cuadro quedó narrado en un cantar que Carrizo recogió en su célebre 'Cancionero Popular de Tucumán', editado por la UNT en 1937, y cuya autoría atribuye a José Domingo Díaz. Lo conservaba don Isidro Alderete Norry en sus papeles'

El último verso enumeraba algunas de las calamidades que apuntamos al comienzo. 'Corre la sangre en San Juan,/Tiembla la tierra en Mendoza,/Y entre llamas horrorosas,/Arde el suelo en Tucumán,/Y según los tiempos van,/Crecen las calamidades,/Y al compás de las maldades,/Se concluye todo bien,/Porque los hombres no ven,/Sus Propias iniquidades'.

7. Lina Beck Bernard. 1857 - 1862

'El Río Paraná. Cinco años en la Confederación Argentina 1857 -1862'. Traducción de José Luis Busaniche. Editorial Emecé, Colección Memoria Argentina, Buenos Aires, 2001.

'Han pasado los fuertes calores del verano y tenemos tiempo magnífico. Llega la época de las carreras de caballos y los paseos por el campo'

'Hacemos galopar los caballos hasta llegar a la entrada de un monte virgen. Desde allí miramos atrás para dominar la llanura que nos rodea. En esto echamos de ver en el horizonte una faja de humo negro que parece adelantar hacia nosotros con notable rapidez. De vez en cuando, entre esa barra compacta que avanza, se abren algunos boquetes que arrojan llamas rojas y amarillas. Es una quemazón o incendio de campos. El espectáculo se hace cada vez más grandioso. La llanura queda pronto convertida

en un mar candente donde el viento lleva y trae las olas de fuego. Por instantes, desplazándose con movimientos de marea, las llamas retroceden dejando ver el suelo ennegrecido, vetado a trechos de gris y blanco por la naturaleza del terreno' En seguida los pastos abrasados vuelven a recubrir el suelo al sople del viento y las llamas voltejean caprichosamente, saltando de un matorral a otro'.

'Muy luego un raro crepitar de hojas se deja oír a nuestra espalda. Es que el viento, cambiando de dirección, ha formado un nuevo foco de incendio y el bosque comienza también a arder'.

'Vueltos a casa, podemos divisar desde la azotea los resplandores de la quemazón entre las tinieblas de la noche. Nos dormimos dando gracias a Providencia por habernos resguardado de tantos peligros'.

8. Gral. Conrado Villegas - 1881.

Diario de la expedición al Nahuel Huapi. Expedición al Nahuel Huapi. Editor: Andrés Carretero. Ed. Sudestada, Buenos Aires, 1968.

'...Los indios de Caleufú alarmados por el ataque que había llevado la 2da Brigada y por la inmediata llegada al mismo de la 1era, comunicaron por sus quemazones, que es el telégrafo de que ellos se valen, la presencia de tropas nacionales en el territorio que hasta entonces ocupaban ...'

9. Productor anónimo. 2002.

'Ingeniero: hoy logramos en un día lo que no podemos hacer en 20 años'.

Productor ganadero justificando la aplicación de fuego en condiciones climáticas extremas.

10. E. Castro Boedo. 1873.

Estudio sobre la navegación del Bermejo y colonización del Chaco. Buenos Aires. Citado por J. Morello, IDIA 1970.

'...una de las armas mas terribles de los indígenas es el fuego. Tienen gran cuidado de conservar durante todo el año puntos determinados sin quemar, ya para ampararse del fuego en una defensiva, ya para triunfar con el fuego en una agresión que emprenden ... Y si bien generalmente hacen quemazones en cierta época para la caza de animales, o para arralar sus bosques, o para preparar sus tierras de sembreras, es también costumbre de ellos anunciarse con humareda'.

11. Juan W. Gez. 1939.

Geografía de la Provincia de San Luis. p. 226, Tomo III. SA Jacobo Peuser, Buenos Aires.

'Las quemazones han ocasionado grandes perjuicios a los campos y en épocas de sequía son una gran peligro para la vida de los pobladores y ganados'....

12. Benito Lynch. 1918.

Raquela.

...'Cuando llegamos a la primera tranquera, ya la quemazón había centuplicado su frente de ataque. Era una gran montaña de humo blanquecino, cuyas crestas movibles despeinaba el viento y en cuya falda, donde se retorcián furiosamente mil remolinos negros, comenzaban a percibirse las rojas lenguas de fuego...'

[se sacrifica a una yegua para emplear su cuerpo, atado por cortos lazos de las patas y arrastrado a la cincha por dos caballos, para extinguir el fuego]

'...bajo el peso de aquel cuerpo macizo y blando, el pasto incendiado se apagaba o permitía por lo menos que nosotros los apagásemos con los cueros mojados. Pero la ilusión duró poco. El siniestro, empujado por el viento, adquiriría una violencia formidable..'

.....
13. Francis Bon-Head. 1826.

'Rough notes taken during some rapid journeys across the Pampas and among the Andes'. Londres. 'Las Pampas y los Andes' Traducción de Carlos Aldao. Ed. La Cultura Argentina

'...Algunos lugares se encuentran quemados por accidentes, y el negro sitio desolado, cubierto de troncos carbonizados, se asemeja a una escena del mundo humano de peste o de guerra. Pero apenas se extingue el fuego, cuan-

do los árboles vecinos parecen todos entremezclar sus ramas y nuevos arbustos se ven alzándose del suelo...'

14. Esteban Echeverría. 1837.

'La Cautiva'

'La llanura arder parece,
Y que con el viento crece,
Se encrespa, aviva y derrama
El resplandor y la llama
En el mar de lóbreguez
Aquel fuego colorado,
En tinieblas engolfado
Cuyo esplendor vaga horrendo,
Era trasunto estupendo
De la infernal terriblez'

3. Reflexiones finales

La lectura de estos relatos y testimonios presenta una evidencia incuestionable: el fuego ha sido desde siempre un fenómeno común en el territorio de la Argentina, aún antes de que la misma existiera como nación. Negar o anular su presencia ocasiona errores de concepto y de estrategia de manejo. El objetivo de este libro es presentar la más reciente información sobre los aspectos ecológicos del fuego y de sus pautas de manejo en el país y en el mundo, a fin de que técnicos, productores y público en general comprendan el fenómeno y aprendan a manejarlo en aquellos ambientes donde el mismo es un componente más de la dinámica del paisaje.

Introducción a la Ecología del Fuego

Guillermo Defossé¹ y M. Florencia Urretavizcaya²



Trabajos para prevención de incendios. Foto: J.L.Panigatti

¹ Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) y Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia. e-mail: defosse@ciefap.cyt.edu.ar

² Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) y Universidad Nacional del Comahue

1. El fuego como disturbio de los ecosistemas terrestres

Así como la lluvia, el viento, la luz, o la temperatura, el fuego es uno de los factores ambientales que ha estado presente desde siempre en nuestro planeta, actuando como fuerza evolutiva de gran significación. Desde el punto de vista ecológico, el fuego puede ser considerado como un disturbio que no es particularmente ni positivo ni negativo (Grime 1977, White y Pickett, 1985, Barbour et al., 1999). Si bien con su acción se destruye la biomasa vegetal, al mismo tiempo se crean espacios abiertos, claros o "gaps" de distintos tamaños donde pueden establecerse nuevos individuos, que darán paso a las diversas etapas sucesionales de las comunidades vegetales y animales. El fuego es un factor que ha modelado la estructura de numerosos ecosistemas terrestres permitiendo mantener su diversidad y estabilidad (Komareck 1964, Daubenmire 1968, Wright y Bailey 1982, Kimmins 1997).

Salvo para selvas muy húmedas y algunos desiertos, que no se queman por condiciones climáticas o por escasa carga de combustible vegetal, podemos afirmar que el fuego ha cubierto con frecuencia variable y por miles de años casi todos los confines de la tierra (Agee 1996, Bond y Van Wilgen 1996, Pyne et al. 1996). La presencia de carbón en sedimentos lacustres confirma que el fuego fue ecológicamente importante en distintos ecosistemas desde tiempos remotos (Markgraff y Anderson 1994, Goldammer et al. 1996, Kimmins 1997). Los fenómenos de vulcanismo y fundamentalmente rayos por tormentas eléctricas han sido desde siempre las causas principales que provocaron la ignición de fuegos naturales. Como ejemplo y para tener una idea de la magnitud del fenómeno de los rayos como iniciadores de incendios, basta decir que hay aproximadamente 40 mil nubes de tormentas eléctricas activas por día en distintas partes de la superficie de la tierra (Schonland 1950). Estas tormentas producen alrededor de 100 rayos por segundo, las 24 horas del día, los 365 días del año, lo que representa más de 3 mil millones de rayos por año (Komarek 1968). Hay regiones donde este fenómeno adquiere mayor relevancia, como en los bosques templados del oeste de los EEUU y Canadá (Wright y Bailey 1982), en el norte de la Región de los

Bosques Andino-Patagónicos donde prevalece *Araucaria araucana* (Veblen et al. 1996), en la región sur del Monte occidental en el noreste de la Patagonia (Dentoni y Cerne 1999, Defossé et al. 2000) o en algunas regiones de Australia (Gill et al. 1981).

Una vez producida la ignición, sea ésta debida a causas naturales o antrópicas, el hecho que un fuego evolucione desde un pequeño foco que puede extinguirse rápidamente hasta un incendio de proporciones variables depende, entre otros factores, de la cantidad (carga), continuidad (disposición horizontal y vertical) y características del combustible vegetal (fino, grueso, inflamable o no), de la temperatura y humedad relativa del aire, de la exposición, de la pendiente y de los vientos. De esa conjunción de factores dependerán luego las características que tenga cada incendio y también las consecuencias que el mismo pueda tener sobre cada ecosistema en particular.

Durante los últimos 30 años, numerosos trabajos han sido publicados en la literatura científica sobre los efectos del fuego en distintos ecosistemas, comunidades y especies. Sabemos ahora con certeza que muchas comunidades vegetales necesitan de fuegos periódicos de determinada intensidad para poder mantener su dinámica natural (Johnson 1992, Swetnam y Baisan 1996) y se han dilucidado algunos de los intrincados mecanismos que dan al fuego un rol fundamental en el mantenimiento y/o mejoramiento del hábitat de la micro, meso y megafauna (Ahlgren 1974, Wright y Bailey 1982, Peek 1986). Un ejemplo lo constituye la interrelación entre el fuego y el ciclo de vida de algunos insectos del género *Melanophila*, que completan su ciclo de vida y pasan sucesivamente de una generación a otra, empleando a la madera quemada recientemente como único sustrato para el desarrollo de sus larvas. Se ha determinado que los adultos de este género responden y son atraídos por las emisiones infrarrojas del fuego hasta una distancia de 50 km (Schmitz et al. 1997).

Otra interacción digna de destacar la constituye la declinación de los bosques de *Pinus contorta* en el Parque Nacional Gran Teton (EEUU) desde que se aplicó la política de supresión de los incendios naturales. Luego de más de 40 años de exclusión del fuego, se observó que una gran proporción de individuos era atacada por un insecto de la corteza. Una profundización de los estudios ecológicos reveló que el enemigo natural de este insecto lo

constituía una lechuza que anidaba en lugares quemados. Al desaparecer los parches quemados, la lechuza también desaparecía. El equilibrio retornó cuando se aceptó la idea de que el fuego pudiera volver a su frecuencia natural, dejando los parches quemados donde la lechuza volvió a anidar y de esa manera se pudo controlar las poblaciones de este insecto, lo que permitió la recuperación de esos rodales (Walter 1985). Otros ejemplos de las intrincadas relaciones entre el fuego y la biota pueden encontrarse en Gill *et al.* (1981) y en Peek (1986).

A pesar de la gran cantidad de información científica generada, aún es escasa la tarea de comunicación que permita integrar y sintetizar estos trabajos con los efectos y consecuencias que la acción antrópica ha causado en diversos ecosistemas al alterar los regímenes naturales de fuego, por tala y quemas, agriculturización, supresión de incendios u otras intervenciones (Bond y Van Wilgen 1996). Si el fuego es una componente natural de los ecosistemas tanto como el viento, la lluvia, o la nieve, ¿por qué suprimirlo cuando este se produce naturalmente? El viento, por ejemplo, produce volteos masivos en los bosques de lenga (*Nothofagus pumilio* [(Poepp. et Endl) Krasser] de Tierra del Fuego, siendo este fenómeno parte de la dinámica natural de este ecosistema que permite abrir "claros" donde se produce la regeneración de la especie (Bava 1999). Sin embargo, a nadie se le ocurriría realizar algún tipo de acción para "parar el viento" y disminuir de esa manera sus efectos. ¿Por qué hacerlo con el fuego?. El desafío es entonces acrecentar los conocimientos científicos sobre el rol de este disturbio en cada ecosistema y lograr que las políticas de manejo del fuego se desarrollen en base a esa información. Podremos así tener en cuenta las particularidades de cada ecosistema o comunidad y compatibilizar esa particularidad con las visiones, demandas y necesidades de la sociedad.

2. El hombre y el fuego

El hombre aprendió a mantener el fuego encendido y a transportarlo de un lugar a otro hace unos 500 mil años (Stewart 1963), pero comenzó a usarlo progresivamente desde hace

sólo unos 20 mil (Johnston 1970). Desde entonces, además de su utilización para calefacción y cocinar sus alimentos, lo emplea con fines de caza, en la guerra, para mejorar los pastos para el ganado o para abrir tierras a la agricultura. Así, el uso del fuego se fue ampliando y modificando paulatinamente la superficie afectada naturalmente por este disturbio. A partir de la revolución industrial de fines del siglo XIX y fundamentalmente durante los últimos 50 años, hubo una serie de hechos como el incremento casi exponencial de la población humana, la expansión de las fronteras agropecuarias en todo el mundo y la presión masiva sobre los recursos naturales para satisfacer las demandas de la sociedad, que provocaron cambios drásticos en los ecosistemas terrestres. Como ejemplo, la transformación de selvas tropicales vírgenes en áreas agrícolas mediante el rozado con fuego, ha sido una de las prácticas que provocaron profundos cambios en la estructura y función de esos ecosistemas (Barbour *et al.* 1999). Por otro lado y como contrapartida, en ecosistemas más templados de Norteamérica, la política de supresión de incendios que naturalmente ocurrían con frecuencia variable, provocó el estancamiento de esas comunidades, volviéndose menos diversas y acumulando paulatinamente combustible vegetal (Agee 1996). Esto trajo como consecuencia modificaciones en la estructura vegetal y en el hábitat de muchas especies animales, desviando en algunos casos el rumbo de la sucesión natural que se había mantenido en un equilibrio dinámico por centurias. A su vez, la mayor carga de combustible abrió el camino para que ante la menor fuente de ignición, se desaten incendios incontrolables de comportamiento extremo¹ como el ocurrido en el Parque Nacional Yellowstone en el verano de 1988 (Christensen *et al.* 1989). Algunas condiciones como el verano históricamente más seco desde que se llevaban registros en ese lugar, baja humedad relativa y vientos de hasta 96 km por hora, hicieron que en un solo día se quemaran 64 mil hectáreas de bosques en ese Parque Nacional (Barbour *et al.* 1999).

En algunas áreas del noroeste de la Patagonia Argentina, la disminución en la frecuencia de incendios debido en parte a la misma política de supresión, también ha provocado un aumento paulatino de la carga de com-

¹- Se denomina incendio "de comportamiento extremo" a aquel incendio cuyo comportamiento imposibilita las acciones de control con métodos directos y que presenta una o más de las siguientes características: alta velocidad de propagación, alta intensidad calórica, numerosos casos de coronamiento, focos secundarios, torbellinos de fuego, columna convectiva de gran desarrollo (Dentoni y Muñoz 2001).

bustible vegetal (Kitzberger y Veblen 1999). En esta situación, existe el riesgo que un incendio, ante condiciones meteorológicas apropiadas, pueda tomar características de comportamiento extremo con consecuencias imprevisibles.

Otro aspecto que ejerce un gran impacto en todos los ecosistemas a nivel mundial y que puede repercutir en aquellos proclives al fuego, es el llamado Cambio Climático Global (Barbour *et al.* 1999). Este cambio climático se debe fundamentalmente al incremento de CO₂ en la atmósfera causado por el incontrolado uso de combustibles fósiles (Amthor 1995). De una concentración promedio de 290 ppm de CO₂ que había en la atmósfera hasta hace unos cincuenta años, hemos pasado a tener 360 ppm en el año 1990, tendencia que sigue en aumento (Amthor 1995). Esta elevada concentración de CO₂ está causando un incremento en el efecto invernadero de la atmósfera, que provoca a su vez un aumento en la temperatura de los mares, que a su vez tienen consecuencias meteorológicas inusuales (lluvias extraordinarias, inundaciones, sequías prolongadas, o variaciones en los regímenes naturales de fuegos) que se agudizan cada día más.

Asimismo y en los últimos veinte años, la mejora en la tecnología de la comunicación y en los vehículos de transporte, unido al deseo de una parte de la población de vivir junto a la naturaleza, ha incrementado el poblamiento de áreas rurales llamadas "de interfase". Esto se ha dado fundamentalmente en las zonas templadas tanto del Hemisferio Norte (Keeley *et al.* 1999) como también a la misma latitud en el Hemisferio Sur, especialmente en la zona cordillerana andina de Argentina y Chile (Morgan *et al.* en prensa) y en algunas zonas de Australia. En estos lugares, se ha seguido la filosofía de conservar a ultranza ciertos elementos del paisaje natural y "suprimir" los fuegos tan pronto como éstos ocurran. Se da entonces aquí la paradoja de que con el afán de conservar, se está aumentando drásticamente el riesgo de que una vez producido un incendio y ante condiciones meteorológicas propicias, éste adquiera características de comportamiento extremo, de difícil control y extinción. Estamos así en una etapa en que los esfuerzos deben orientarse no sólo a continuar con las investigaciones sobre la ecología del fuego en cada comunidad, sino en hacer comprender a las autoridades, operadores y administradores de recursos, periodistas y comunicadores sociales, ONG's y todos los ciudadanos interesados, sobre los riesgos que implica el manejo inadecuado de este disturbio (Morgan *et al.* en prensa).

Se torna crucial en estos lugares el desarrollo de planes a distintos niveles (vecinales, locales, municipales y/o comarcales) que incluyan el manejo de los combustibles vegetales para disminuir así los riesgos de incendios catastróficos que pueden afectar no sólo construcciones sino poner también en peligro vidas humanas.

3. La importancia del manejo de los combustibles y el rol de las quemas prescriptas

Algunos ecosistemas proclives al fuego y otros que no lo son tanto han sido tan intervenidos por acción antrópica, que el sólo hecho de eliminar esa intervención o disturbio no parece suficiente como para restaurar de alguna manera sus condiciones originarias (Passera *et al.* 1992, Beeskow *et al.* 1995). En relación con el fuego, en algunas regiones del Oeste de los EEUU han comenzado programas de manejo de los combustibles que incluyen quemas prescriptas y cuyo objetivo es restaurar en esos ecosistemas las condiciones naturales previas a la intervención humana de supresión total (Wright y Bailey 1982, Agee 1996). Se trata de "imitar" de alguna manera los regímenes naturales de fuego mediante el uso de estas quemas prescriptas (Minnich 1983), o el "dejar que se quemé" (lo que se llama quemas naturales prescriptas) cuando un incendio iniciado por causas naturales cumple con las condiciones y objetivos planteados para una quema prescripta (Schullery 1989, Botti 1995).

En el caso particular de la Patagonia Argentina, todavía falta avanzar en el conocimiento sobre fuego y su aplicación que nos lleve paulatinamente a una política de manejo de los combustibles. Podemos señalar como ejemplos dos casos en ecosistemas distintos en los cuales la falta de una política de manejo del combustible vegetal ha tenido efectos indeseables, que se pueden agudizar más en el futuro. El primero de ellos comprende a la zona sur de la región Fitogeográfica del Monte (Cabrera 1976), en el noreste de la Provincia del Chubut y cuya área crítica se localiza en las cercanías de Puerto Madryn. Existen evidencias que sugieren que el fuego tuvo un rol importante en la dinámica de los pastizales de esa región desde tiempos remotos. Los veranos, secos y calurosos, condicionan un ambiente propicio para que ante una fuente de ignición, se desaten incendios de proporciones variables (Defossé *et al.* 2000). Esta

dinámica natural fue alterada con la introducción del ovino a principios del siglo pasado, que con su pastoreo continuo durante casi ochenta años redujo sensiblemente el componente herbáceo de esos pastizales (gramíneas más hierbas). La disminución de la biomasa por efectos del pastoreo quitó continuidad horizontal a ese combustible y causó que los incendios desatados por rayos u otras causas fueran pequeños y fáciles de controlar (Dentoni y Cerne 1999).

Diferentes razones causaron que en los últimos veinte años, numerosas estancias de los alrededores de Puerto Madryn abandonaran las explotaciones y vaciaran sus campos de ovejas. La falta de pastoreo produjo un considerable aumento en la biomasa de pastos y mantillo sin descomponer, que ante la menor fuente de ignición se transformaron en incendios de grandes proporciones. Actualmente esos campos se queman durante el verano cuando las condiciones son proclives, lo que ocasiona pérdidas en vidas humanas y amenaza construcciones (Dentoni *et al.* 2001, del Valle *et al.* 2002, Figura 1). El caso más dramático ocurrió el 21 de enero de 1994, cuando la conjunción de factores meteorológicos (altas temperaturas, baja humedad relativa, formación de una columna

de convección) y de combustibles (alta proporción de combustibles finos totalmente secos) produjo un incendio de comportamiento extremo cuyo luctuoso saldo fue el de 25 bomberos muertos por efectos del fuego, que se transformó en el peor desastre en la historia del combate de incendios rurales en la Argentina (Dentoni *et al.* 2001).

Otro ejemplo en la Patagonia lo constituye el incendio que se produjo en la Estancia "San Ramón" en Bariloche, durante el verano de 1999. Esta estancia se encuentra en la zona de ecotono entre la estepa patagónica y los bosques andinos, donde el fuego también ha tenido un rol importante en la dinámica de esa vegetación (Kitzberger 1994). "San Ramón" se ubica en un paisaje donde prevalecen las áreas con pastizales y estepas arbustivas, presentando los faldeos de algunas lomadas grupos de especies forestales nativas y también lugares donde desde hace más de 30 años se venían realizando forestaciones con pinos. Era un símbolo de las explotaciones rurales del oeste de la Patagonia, donde se combinaban aspectos ganaderos ovinos y bovinos con un incipiente pero creciente desarrollo forestal. Sin embargo, el 25 de enero de 1999, un rayo inició un fuego en un área de pastizal. Al día siguiente,

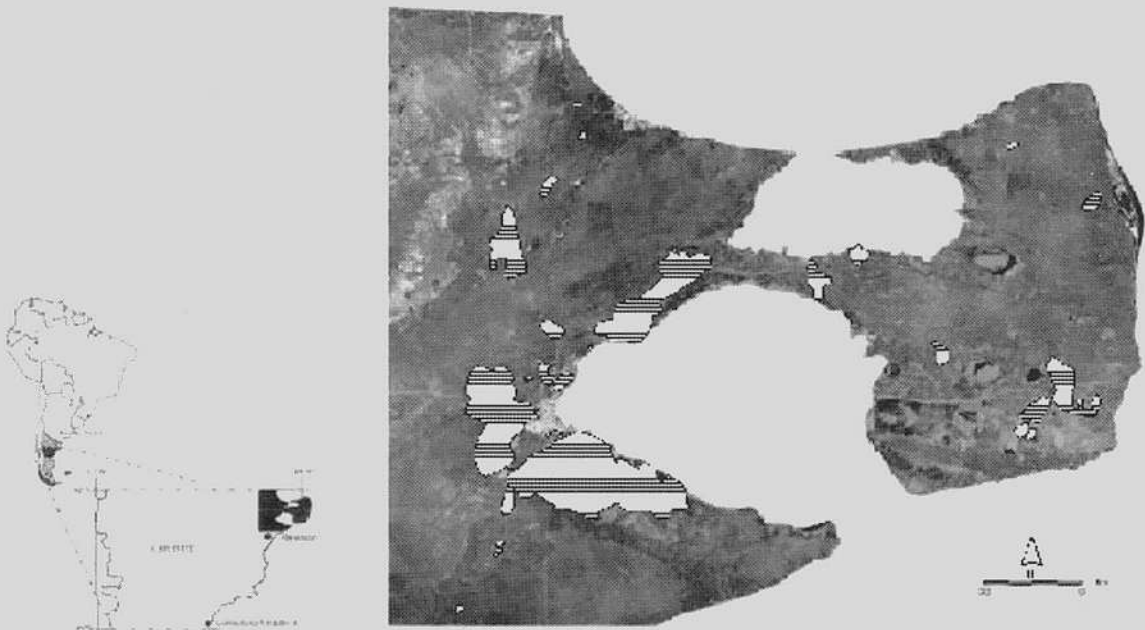


Figura 1. Imagen satelital compuesta (Landsat TM y ETM y ERS/SAR, del Valle *et al.* 2002) de la región Noreste de la Provincia del Chubut, donde se encuentra ubicada la ciudad de Puerto Madryn. En las áreas rayadas, se muestra el área afectada por incendios periódicos ocurridos durante los veranos en los últimos 16 años. Como ejemplo de la magnitud de estos incendios, solo en el evento ocurrido entre el 21 y 23 de enero de 1994, se consumieron 12.722 ha de pastizales, equivalente a casi 5 veces la superficie ocupada por esta ciudad.

las condiciones meteorológicas reinantes hicieron que se transformara en un incendio de comportamiento extremo, que alcanzó en 9 días un total 18.700 hectáreas (Figura 2). El incendio afectó los pastizales, las plantaciones de pino y destruyó por completo el casco y las instalaciones de la estancia. En apenas una semana, este incendio redujo a cenizas el trabajo de casi

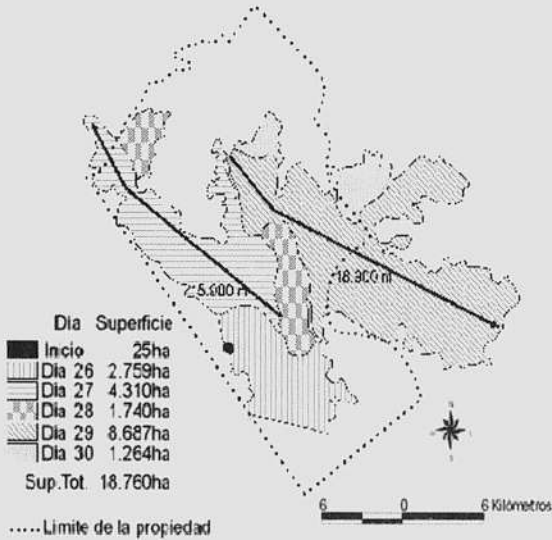


Figura 2. Evolución diaria de la superficie afectada por el incendio de "San Ramón". Nótese que los días 27 y 29, en que las condiciones meteorológicas fueron más críticas, favorecieron el desarrollo del comportamiento extremo del fuego. Los límites aproximados de la estancia aparecen en línea punteada.

medio siglo (Figura 3). En este caso, factores meteorológicos de distinta escala entre ellos: déficit de precipitación durante el transcurso de 1998, pasaje de un frente frío, temperatura del aire significativamente mayor y humedad relativa del aire menor a las medias históricas durante los primeros cinco días del incendio, asociados a la alta carga de combustible por falta de manejo adecuado de las plantaciones, favorecieron el desarrollo del incendio el cual presentó durante los días de mayor actividad, características de comportamiento extremo (Dentoni et al. 1999, Defossé et al. 2001).

Al analizar estos dos casos observamos que existieron condicionantes meteorológicas extremas (desde sinópticas hasta locales y puntuales) que el hombre no pudo ni puede dominar y que aunque ocurridas en ecosistemas diferentes y distantes, tuvieron efectos semejantes en el comportamiento y efectos de los respectivos incendios. Estas condicionantes meteorológicas, que ocurren año a año, nos indican la importancia de estudiarlas y poder anticipar, con tiempo suficiente, la posible ocurrencia de fenómenos conducentes a incendios de comportamiento extremo. Pero, por otro lado, el hombre sí puede estudiar los combustibles vegetales, que debe aprender a manejar. Se hace entonces imperioso estudiar y ejecutar todas las tareas que permitan reducir riesgos futuros, y en las que las quemas prescriptas cobran especial importancia.

Afortunadamente se están desarrollando en el país alertas e índices de peligro de incendios, que tomando en cuenta la mayoría de las variables meteorológicas que afectan a los com-

Figura 3. Aspecto que presentaban los faldeos forestados de la Ea. San Ramón luego del incendio del 25 de enero de 1999. La falta de manejo integral de las plantaciones (los rodales podados tenían aún las ramas debajo del dosel; otros rodales no habían sido ni podados ni raleados) hicieron inútiles las fajas cortafuegos.



bustibles, ayudan a programar y evaluar anticipadamente los riesgos de incendios y los que podrían correrse en las tareas de combate y supresión de incendios. Asimismo se están llevando a cabo algunos programas promisorios de quemas prescritas que permitirán ir paulatinamente hacia un mejor manejo de los combustibles y ayudarán sin dudas a evitar en el futuro incidentes como los aquí presentados.

4. Reflexiones finales

El fuego es un disturbio que depende de la conjunción de factores bióticos (combustible vegetal = fitomasa) y abióticos (meteorológicos y topográficos). Mientras que es posible manejar a los bióticos, hacerlo con los abióticos está por encima de las capacidades humanas. Con estos últimos, sólo es posible conocer, a través de detallados estudios, cómo afectan al comportamiento de los incendios e incorporar estos conocimientos a su predicción. Desde el punto de vista ecológico, el fuego puede ser necesario en algunas comunidades, para acelerar alguna etapa de la sucesión, para permitir la germinación y el desarrollo de nuevos

propágulos, o para eliminar la competencia intra o interespecífica. Es también importante desde el punto de vista económico, ya sea a través de quemas prescritas para mejorar la calidad nutricional de pasturas para el ganado, o simplemente simulando un fuego natural para bajar la carga de combustible y disminuir así el riesgo de incendios de comportamiento extremo.

Por otro lado, el fuego puede tener consecuencias catastróficas cuando afecta zonas en ecosistemas ubicados en áreas de interfase. En estos lugares, la presión antrópica por construir residencias manteniendo a su vez inalterada la vegetación originaria, está aumentando progresivamente los peligros de incendios y dificultando su supresión en caso de que éstos ocurran. De allí la importancia de incorporar el tema de las acciones, el comportamiento y el pensamiento humano con relación al fuego como disturbio no sólo en los ecosistemas naturales sino también en los modificados por acción antrópica. El desafío está entonces en investigar y comprender el rol que el fuego tiene en cada comunidad y profundizar los programas de predicción y prevención con el fin de realizar las tareas necesarias de manejo de combustibles que permitan reducir los riesgos futuros.

5. Bibliografía

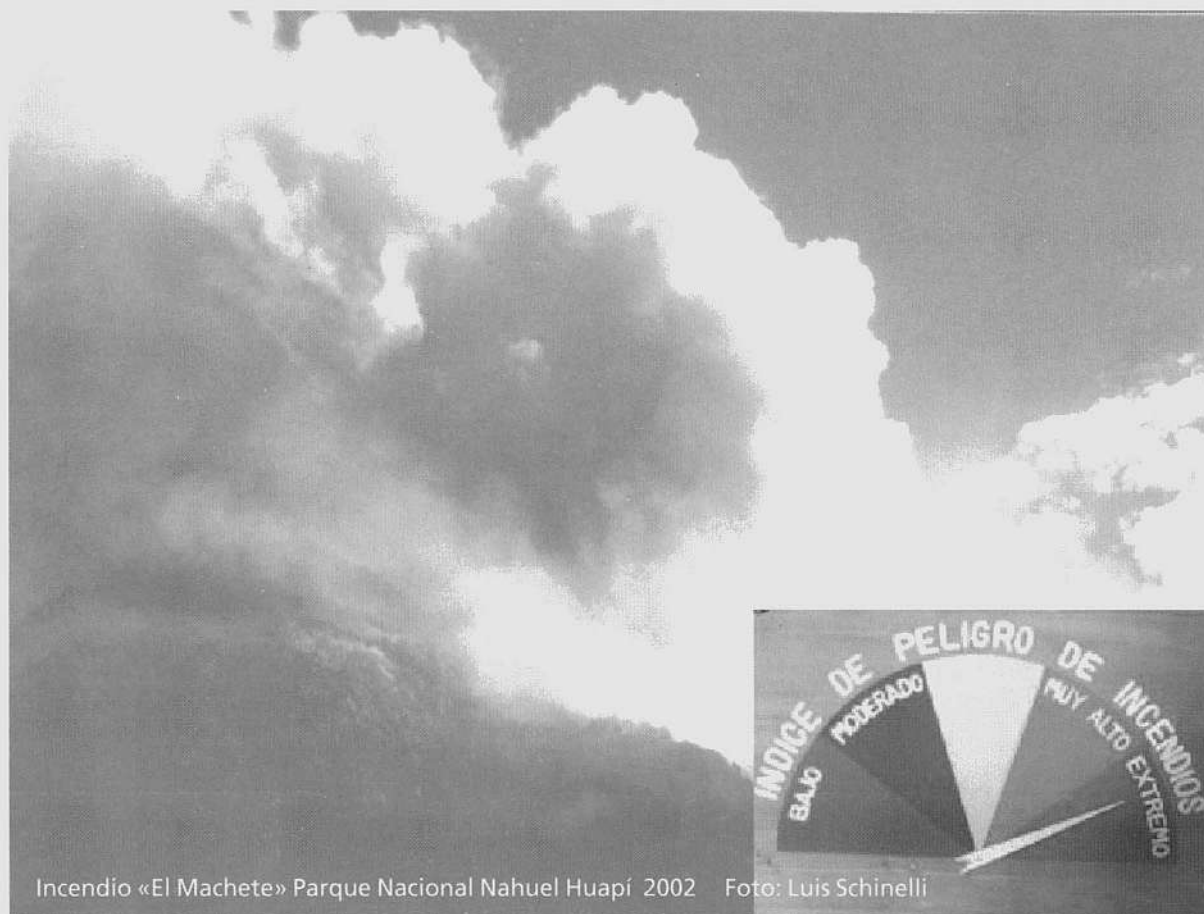
- Agee J. 1996. Achieving conservation biology objectives with fire in the Pacific Northwest. *Weed Technology* 10(2): 417-421.
- Ahlgren I. 1974. The effects of fire on soil organisms. En T.T. Kozlowski y C. E. Ahlgren (eds). *Fire and Ecosystems*. Academic Press, New York.
- Amthor J. 1995. Terrestrial higher-plant response to increasing atmospheric (CO₂) in relation to the global carbon cycle. *Global Change Biology* 1:243-274.
- Barbour M, J Burk, W Pitts, F Gilliam y M Schwartz. 1999. Terrestrial plant ecology (third edition). Benjamin/Cummings, Menlo Park, California. EEUU.
- Bava J. 1999. Aportes ecológicos y silviculturales a la transformación de Bosques Vírgenes de Lengua en Bosques Manejados en el Sector Argentino de Tierra del Fuego. *Publicación Técnica Nro 29*. CIEFAP, Esquel, Chubut.
- Beeskow A, N Elissalde, y C Rostagno. 1995. Ecosystem changes associated with grazing intensity on the Punta Ninfas rangelands of Patagonia. *J. Range Manage.* 48:517-522.
- Bond W. y B Van Wilgen. 1996. Fire and plants. Chapman and Hall, New York.
- Botti S. 1995. Funding fuels management in the National Park Service: costs and benefits. En: D. R. Weise y R. E Martin, Technical Coordinators. *The Biswell Symposium: Fire Issues and Solutions in Urban Interface and Wildland Ecosystems*. Walnut Creek California Gen. Tech. Report PSW-GTR-158. Albany, CA: Pacific South west Research Station, Forest Service. USDA.
- Cabrera A. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Segunda Edición, Tomo II*. Editorial ACME, Buenos Aires.
- Christensen N, J Agee, P Brussard, et al. 1989. Interpreting the Yellowstone fire of 1988. *Bioscience* 39(10):678-685.
- Daubenmire R. 1968. Ecology of fire in Grasslands. PP 209-267 en J. B. Cragg (ed.) *Advances in Ecological Research*. Academic Press, New York, London.
- Defossé G, C Rostagno y H del Valle. 2000. Postfire Vegetation Responses in the Monte Region of Northeastern Patagonia, Argentina. Pag. 25 en: Abstracts, 53rd Annual Meeting Society for Range Management. Boise, Idaho, 13 al 18 de Febrero.

- Defossé G, N Rodríguez, M Dentoni, M Muñoz, y H Colomb. 2001. Condiciones ambientales y bióticas asociadas al incendio "San Ramón en Bariloche, Río Negro, Argentina en el verano de 1999. Pag. 91 en: Resúmenes, *I Reunión Binacional de Ecología, XX Reunión Argentina de Ecología y X Reunión de la Sociedad de Ecología de Chile*. Bariloche, Río Negro. 23 al 27 de abril.
- del Valle H, C Rostagno y G Defossé. 2002. Monitoreo satelital de la degradación del suelo superficial y los procesos de regeneración de la vegetación en áreas incendiadas del noreste del Chubut. Pag. 83 en: *XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Puerto Madryn, 16 al 19 de abril.
- Dentoni M y B Cerne. 1999. La Atmósfera y Los Incendios. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo sustentable. Gráfica San Lorenzo, Buenos Aires.
- Dentoni M y M Muñoz. 2001. Glosario de Términos Relacionados con el Manejo del Fuego. *Informe Interno*. Plan Nacional de Manejo del Fuego. Secretaría de Recursos Naturales y Política Ambiental. Buenos Aires, 29 pp.
- Dentoni M, G Defossé, J Labraga, y H del Valle. 2001. Atmospheric and fuel conditions related to the Puerto Madryn fire of 21 January, 1994. *Journal of Meteorological Applications* 8:361-370.
- Dentoni M, G Defossé, N Rodríguez, M Muñoz y H Colomb. 1999. Estudio de Grandes Incendios: El caso de la Ea. San Ramón en Bariloche, Río Negro – Patagonia Argentina. Plan Nacional de Manejo del Fuego – CIEFAP – GTZ. 94 pp.
- Gill A, R Groves y I. Noble (eds). 1981. Fire and The Australian Biota. Australian Academy of Science, Camberra, 582 pp.
- Goldammer J, P Cwielong, N Rodríguez y J Goergen. 1996. One thousand years of fire history of Andino-Patagonian Forests recovered from sediments of the Epuen River, Chubut Province, Argentina. Pags. 653-659 en: *Biomass burning and global change*, Vol II (J. S. Levine, ed.) The MIT Press, Cambridge, MA.
- Grime J. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist* 11:1169-1194.
- Johnson E. 1992. Fire and Vegetation Dynamics: Studies from the North American Boreal Forest. Cambridge University Press. U. K., 125 pp.
- Johnston 1970. Nature before us successfully managed the forest. *Audubon*, 71-119.
- Keeley J, C Fotheringham, y M Morais. 1999. Reexamining fire suppression impacts on brushland fire regimes. *Science* 284:1829-1832.
- Kimmins J. 1997. Forest Ecology. A foundation for sustainable management. (2nd. Edition). Prentice Hall, Upper Sadle River, New Jersey, USA.
- Kitzberger T. 1994. Fire regime variation along a northern Patagonian forest-steppe-ecotone: stand a lanscape response. Tesis de Doctorado. Department of Geography, University of Colorado, Boulder. Colorado 203pp.
- Kitzberger T y T Veblen. 1999. Fire-induced changes in northern Patagonian landscapes. *Landscape Ecology* 14: 1-15.
- Komarek E. 1964. The natural history of lightning. En: *Proceedings of the tall timbers Fire ecology conference Nro 2*. pp 181-187 Tallahassee, Florida, EEUU.
- Komarek, E. V. 1968. Lightning and lightning fires as ecological forces. En: *Proceedings of the tall timbers Fire ecology conference Nro 8*. pp 169-197. Tallahassee, Florida, EEUU
- Markgraff, V. y L Anderson. 1994. Fire history of Patagonia: climate versus human cause. *Rev. IG. Sao Paulo*, 15, 35-47.
- Minnich, R. 1983. Fire Mosaics in Southern California and Northern Baja California. *Science* 219:1287-1294.
- Morgan P, G Defossé y N Rodríguez (en prensa). Management implications of fire and climate changes in the western Americas. Capítulo 17 en: T. T. Veblen, W Baker, G Montenegro y T Swetnam, eds. *Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York Tokyo.
- Passera C, Borsetto R, Candia J y C Stasi. 1992. Shrub control and seeding influences on grazing capacity in Argentina. *J. Range Manage.* 45:480-482.
- Pyne S, P Andrews y R Laven. 1996. Introduction to Wildland fire. 2nd Edition. Wiley, New York.
- Peek J. 1986. A review of wildlife management. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Schmitz H, H Bleckmann y M Murtz. 1997. Infrared detection in a beetle. *Nature* 386:773-773.
- Schonland B. 1950. The Flight of the Thunderbolt. Oxford University Press, Oxford, 152 pp.
- Schullery P. 1989. The fires and Fire Policy. *Bioscience* 39(10):686-694.

- Stewart O. 1963. Barriers to understanding the influence of fire by aborigines in vegetation. En: *Proceedings of the tall timbers Fire ecology conference Nro 2*, pp 117-126 Tallahassee, Florida, EEUU
- Swetnam T y C Baisan. 1996. Historical fire regime patterns in the southwestern United States since A.D. 1700. Pag. 11-32 En: C Allen, *Proceedings of the 2nd La Mesa Fire Symposium*, March 29-31, 1994, Los Alamos, New Mexico. General Technical Report RM-GTR-286. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO.
- Veblen T, T Kitzberger, B Burns y A. Rebertus. 1996. Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques andinos del sur de Chile y Argentina. En: Armesto J, Villagrán C y M Arroyo eds. *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Walter H. 1985. *Vegetation of the Earth and Ecological systems of the Geo-biosphere*. Third Edition. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York Tokyo.
- White P y S Pickett. 1985. Natural Disturbance and Patch Dynamics: An Introduction. Chapter 1. En: S. T. A. Pickett y P.S. White (Eds.) *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, San Diego, Cal., EEUU.
- Wright H y H Bailey. 1982. *Fire Ecology*. John Wiley, New York.

Meteorología y el manejo del fuego

María del Carmen Dentoni¹



Incendio «El Machete» Parque Nacional Nahuel Huapí 2002 Foto: Luis Schinelli

¹ Area de Meteorología y Comportamiento del Fuego. Plan Nacional de Manejo del Fuego. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y Universidad Nacional de la Patagonia Sede Esquel. e-mail: manejodelfuego@ciudad.com.ar

1. Introducción

Desde que comenzaron a desarrollarse las actividades forestales en las zonas templadas del hemisferio norte, los obreros forestales notaron que el contenido de humedad de los combustibles cambiaba apreciablemente de un día para el otro y que, cuando se producía un foco de fuego, su comportamiento estaba estrechamente relacionado con ese contenido de humedad (Wright y Bailey 1982). Muchos de estos pioneros en comportamiento del fuego, se transformaron en expertos en predecir la intensidad del fuego, de acuerdo con el contenido de humedad de los combustibles. Nació así la idea que, de poder inferir el contenido de humedad de los combustibles, podrían inferirse las distintas variables de comportamiento del fuego. A fines de la década del 20, se efectuaron los primeros pasos para dar a estos conceptos un fundamento científico, reconociendo que el contenido de humedad de los combustibles estaba controlado por los elementos meteorológicos. Investigadores de Estados Unidos y Canadá dieron así comienzo a décadas de estudio de las relaciones existentes entre el contenido de humedad de los combustibles y las condiciones meteorológicas, con el objetivo de desarrollar sistemas que permitieran estimar diariamente el peligro potencial de fuego, posteriormente conocidos como *Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios* (Chandler *et al.* 1991).

Las condiciones meteorológicas no sólo afectan al comportamiento del fuego en forma indirecta, a través de su influencia sobre el contenido de humedad de los combustibles, sino que también lo hacen en forma directa, generando fuentes de ignición por la ocurrencia de rayos y actuando sobre variables como la propagación del fuego o su intensidad. Las dificultades en predecir el comportamiento del fuego, son en gran medida causadas por las dificultades en predecir el estado del tiempo; ninguna componente del entorno del fuego es tan variable como el tiempo ni tan importante para el pronóstico de su comportamiento, para la planificación a corto plazo, ni para la definición a largo plazo de políticas administrativas acordes a los regímenes de fuego (Pyne 1984).

2. Clima de fuego

La palabra *tiempo* está referida al estado de la atmósfera en un determinado momento y lugar. El estado del tiempo se describe mediante variables como la temperatura, la presión atmosférica, la humedad, las nubes, la precipitación y el viento, entre otras. El concepto de

clima se refiere a las condiciones medias de estas variables en una región a lo largo del tiempo, considerando asimismo los extremos alcanzados por cada variable y la frecuencia con que los mismos se producen (Ahrens 1994).

Los valores medios de variables meteorológicas como la temperatura y la precipitación, condicionan aspectos como la época y la duración promedio de la temporada de incendios (generalmente aquellos periodos en que las altas temperaturas se combinan con escasas precipitaciones), la frecuencia media de ocurrencia de focos de fuego asociados a tormentas, y la probable disponibilidad de combustibles vegetales en cada época (Dentoni y Cerne 1999). Las condiciones meteorológicas extremas y la frecuencia con la que las mismas se producen permiten estimar la probabilidad de ocurrencia de temporadas con mayor carga¹ de fuego y ocurrencia de incendios de comportamiento extremo. Se define entonces como clima de fuego, al patrón de variables meteorológicas que a lo largo del tiempo afectan al comportamiento del fuego en una región (Chandler *et al.* 1991). Por lo tanto, el conocimiento del clima permite una mayor eficiencia en la asignación regional de recursos humanos y materiales para el combate de incendios, como también una mejor planificación de actividades de mitigación de los efectos no deseados del fuego y de su uso como herramienta de manejo. Un mayor conocimiento del clima permite a las autoridades responsables del manejo del fuego predecir las estaciones más críticas con la anticipación suficiente para implementar programas de prevención en el momento adecuado y de manera efectiva.

En nuestro país, la época de ocurrencia de incendios de vegetación varía de acuerdo con las características climáticas de las distintas regiones. En la Región Patagónica la temporada de incendios comienza a fines de la primavera, cuando comienzan a disminuir las precipitaciones y a aumentar las temperaturas, y finaliza a comienzos del otoño, cuando las precipitaciones comienzan a aumentar y la temperatura disminuye. A medida que nos desplazamos hacia el norte se produce una variación en la temporada de incendios asociada a los meses con menores precipitaciones.

El clima junto a factores edáficos, fisiográficos y bióticos determina el crecimiento de la vegetación. Cada especie vegetal tiene un clima óptimo para alcanzar máximo desarrollo y a esto

¹ Concepto relacionado con el esfuerzo requerido para el control de los incendios que ocurren en un área y período determinados (Deeming *et al.* 1977).

responde la distribución de la vegetación sobre la tierra (Critchfield 1983). Las características climáticas influyen en las propiedades de los combustibles vegetales presentes en cada región y, por ende, los tipos de fuegos que en ella se producen. Esto se debe a que la intensidad del fuego varía de acuerdo con la cantidad, contenido de humedad y estructura del combustible vegetal (Chandler *et al.* 1991).

El concepto de *régimen de fuego* intenta relacionar la naturaleza física del fuego con el contexto biológico representado por el complejo de combustibles vegetales. Juntos determinan un patrón particular de ocurrencia y comportamiento del fuego (Pyne 1984). Dentro de este sistema, los fuegos exhiben propiedades más o menos consistentes en lo referido a velocidad de propagación y superficie afectada que tienden a repetirse. Cualquier cambio, ya sea en el patrón de fuego o en la vegetación, resultará en un nuevo régimen de fuego (Pyne, 1984).

Las evidencias paleontológicas y los estudios de correlación de datos meteorológicos y de ocurrencia de fuego durante la última centuria, sugieren que los cambios climáticos están acompañados de cambios en los regímenes de fuego (Goldammer 1998). Los *Modelos de Circulación General de la Atmósfera* (MCGA) permiten la integración de información crucial para determinar el grado de peligro de incendios en escenarios regionales o globales de cambio climático. De acuerdo con los resultados de dichos modelos, el incremento en la concentración de gases invernaderos produciría un aumento de temperatura de entre 1 a 3,5 ° C del clima de la tierra para fines de siglo (Flanningan *et al.* 1998). Algunos autores sugieren que este cambio en la temperatura produciría condiciones meteorológicas más favorables para el inicio y desarrollo de incendios forestales, tales como sequías, viento y fuentes naturales de ignición (Overpeck *et al.* 1990).

Sin embargo, los efectos del calentamiento global sobre las distintas variables meteorológicas que afectan al comportamiento deben ser analizados regional y estacionalmente. Las posibles repercusiones de los cambios climáticos regionales, aún las sugeridas por los escenarios más moderados, pueden afectar aspectos como la biodiversidad y el régimen de incendios forestales (Labraga 1998). De acuerdo con los resultados de experimentos climáticos de duplicación de CO₂ para Sudamérica, en la zona semiárida del centro-oeste de Argentina se produciría un aumento de la temperatura de verano de entre 1 y 3 ° C si se duplicara la concentración de CO₂ en la atmósfera, mientras que la precipitación disminuiría entre un 10 y un 15 % por cada grado de incremento de la temperatura durante la misma estación (Labraga y López

1997). Esta combinación de incremento de temperatura y disminución de la precipitación podría generar temporadas más críticas que las actuales. En invierno, los modelos indican incrementos en la precipitación del 5% en la zona austral y de entre el 5 y 10% en el nordeste argentino, siempre expresados por grado de calentamiento global (Labraga y López 1997), lo que muy probablemente modificaría regionalmente la carga y disponibilidad de combustibles vegetales durante las respectivas temporadas de incendios.

No sólo es importante conocer el escenario futuro de cambio en los valores medios de las distintas variables meteorológicas, sino también las modificaciones que sufrirían los valores extremos y la frecuencia con la que los mismos se producirían. El calentamiento global podría incrementar el número y severidad de eventos meteorológicos extremos, tales como tormentas y sequías relacionados con la ocurrencia y comportamiento de incendios de vegetación.

Conocer el escenario futuro de cambio climático y sus distintos efectos sobre los regímenes de fuego es de fundamental importancia para la definición de políticas de manejo de incendios. En este sentido, es necesario considerar los efectos que el mismo tendría sobre la disponibilidad, composición y estructura de combustibles, sobre la variabilidad interestacional, inter-anual o entre décadas y sobre los cambios día a día en el estado del tiempo, que definen el comportamiento del fuego en cada evento en particular, la frecuencia de ocurrencia y la severidad (Fosberg 1998).

3. Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios de Vegetación

Diversos sistemas se han desarrollado con el propósito de evaluar los factores que intervienen en la ocurrencia, el comportamiento y los efectos de los incendios. Los sistemas que evalúan la probabilidad de que exista una fuente de ignición se denominan *Sistemas de Evaluación de Riesgo de Incendio*. Aquellos sistemas que, además del riesgo, toman en cuenta la probabilidad de ignición, las características del comportamiento del fuego en caso que un foco prospere, las dificultades para el control y los daños que causaría, se denominan *Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios* (Dentoni y Muñoz, 2000). Asimismo, estos Sistemas acoplados con *Modelos de Circulación General de la Atmósfera* (MCGA) permiten predecir escenarios futuros de niveles de peligro de incendio en respuesta a cambios climáticos (Wotton *et al.* 1998).

Dichos sistemas están compuestos por diversos índices, cada uno de los cuales es indicador de la contribución de un cierto factor a la ocurrencia y el posterior comportamiento del fuego. Los sistemas más simples se conforman de un sólo índice, que en la mayoría de los casos toma sólo en cuenta el efecto de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación; los más complejos incorporan relaciones entre las variables meteorológicas, el estado de los combustibles y el comportamiento del fuego, para producir indicadores que proveen una medida cuantitativa de la dificultad de control y del potencial de daño o impacto, en términos de longitud de llama o de intensidad de fuego (Countryman 1966). Estos últimos permiten cuantificar las variables de comportamiento del fuego, tales como la longitud de llama o intensidad de línea en función de las condiciones meteorológicas, de las características y el estado de los combustibles y de la topografía.

Los sistemas de evaluación de peligro más desarrollados que permiten cuantificar las variables de comportamiento del fuego en función de las condiciones ambientales y bióticas se utilizan tanto para evaluar el peligro de incendios a escala regional como para el análisis de comportamiento de cada incendio en particular. Además, una vez definidas las variables de comportamiento deseadas para lograr los objetivos de una quema prescrita, estos sistemas pueden ser utilizados para definir la ventana atmosférica bajo la cual hay que quemar para lograrlos.

El desarrollo de Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios requiere de una gran inversión de tiempo y de recursos humanos y económicos. A modo de ejemplo, el sistema canadiense es el resultado de un proceso de investigación a lo largo de un período de 70 años (Stocks *et al.* 1989) y el sistema utilizado en Australia demandó la inversión de aproximadamente 6 millones de dólares australianos y un período de investigación y desarrollo de 40 años (Fogarty *et al.* 1998). Por este motivo se deduce que la utilización de un Sistema de Evaluación de Peligro de Incendios ya existente reduce significativamente las inversiones de tiempo y de dinero. Sin embargo, la utilización de un sistema de evaluación de peligro que no se ajuste al ecosistema al cual se lo aplica puede generar mayores gastos por inducir a decisiones de manejo inadecuadas (Fogarty *et al.* 1998). Por este motivo, la adopción de cualquiera de estos sistemas requiere de experiencias de prueba que permitan efectuar los ajustes adecuados para cada región.

Los sistemas de evaluación de peligro de incendios de vegetación no pueden consistir sólo en "métodos de cálculo". Tienen que existir

agentes que los apliquen a la realidad y utilicen sus productos (Velez 1998). Su implementación debe adecuarse a los esquemas organizativos de los Servicios de Manejo de Fuego y estar acompañada de la capacitación de su personal para poder interpretarlos y cooperar con su ajuste mediante la observación del comportamiento del fuego durante las operaciones de control o de quema.

3.1 Sistema Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios

Algunos organismos de manejo de fuego de Argentina calculan diariamente índices de peligro de incendios basados en información meteorológica y compuestos por un único indicador. En general, dichos índices no han sido relacionados a parámetros de comportamiento del fuego, motivo por el cual las posibilidades de utilizarlos para fundamentar medidas operativas son muy limitadas.

El Plan Nacional de Manejo del Fuego (PNMF) de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS), en respuesta a la inquietud expresada por distintas Provincias y la Administración de Parques Nacionales (APN), incorporó dentro de sus líneas de trabajo el desarrollo e implementación de un sistema de evaluación de peligro de incendios para nuestro país, con más alcances en lo referido a aplicaciones operativas que los índices actualmente en uso.

Siguiendo las tendencias internacionales con respecto a los beneficios de la adaptación local de sistemas ya existentes (Reifsnnyder y Alberts 1994), se efectuó una extensa revisión de los sistemas de evaluación de Peligro utilizados por distintos países (Dentoni y Muñoz 2000), con el objetivo de analizar los alcances y viabilidad de cada uno. El Sistema Canadiense fue considerado más conveniente que el resto por las siguientes características (Van Wagner 1987):

a. Se compone de un conjunto de indicadores que permiten evaluar un amplio espectro de características de comportamiento del fuego.

b. Está conformado por subsistemas o componentes (Fig. 1) que pueden ser ajustados e implementados gradualmente

c. La componente meteorológica (Fig. 2) provee de códigos del contenido de humedad de los combustibles de distinto porte (finos, medios y gruesos) y de índices relativos de velocidad de propagación inicial, de carga relativa disponible y de intensidad de línea.

d. Para el cálculo de los códigos e índices, se utiliza información meteorológica estándar correspondiente a las 12 hs.

El Sistema Canadiense ha sido adoptado total o parcialmente en lugares como Alaska (Alexander y Cole 1995), Fiji (Alexander 1989),

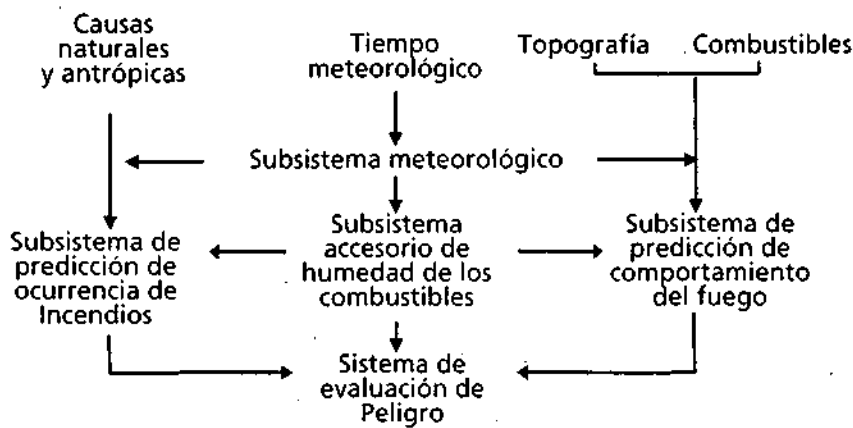


Figura 1. Estructura del Sistema Canadiense de Evaluación de Peligro de Incendios Forestales

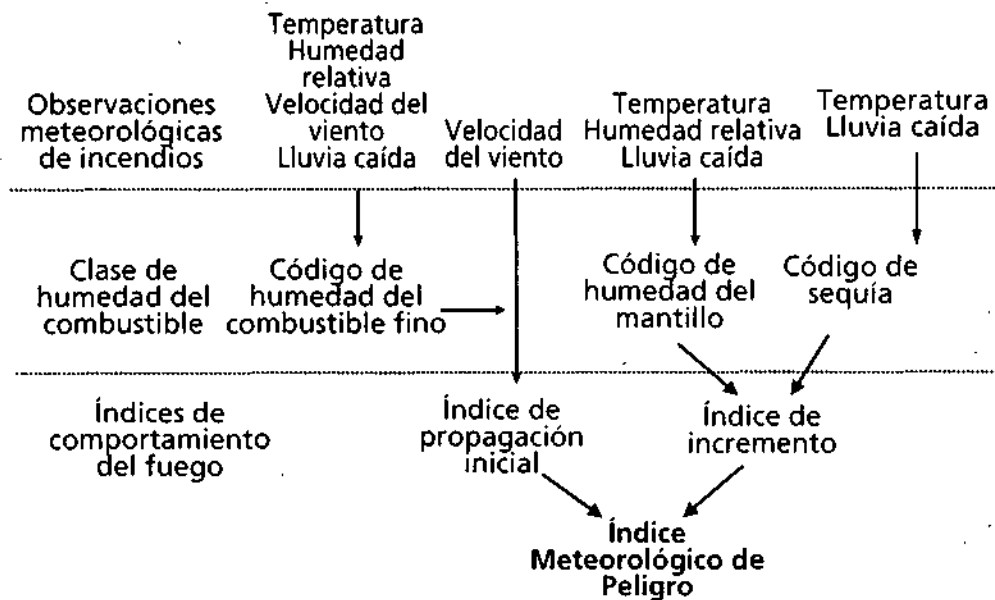


Figura 2. Subsistema Meteorológico del Sistema de Evaluación de Peligro de Incendios Canadiense.

Nueva Zelanda (Valentine 1978) y México (Taylor 2001). A través del denominado Proyecto 2000 de Transferencia de Tecnología y Manejo del Fuego, que cuenta con el aval de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI) y que se desarrolla en forma conjunta entre el PNMF y el Programa de Protección del Ministerio Forestal de la Provincia Canadiense de British Columbia, se iniciaron en nuestro país las actividades de adaptación e implementación operativa del sistema canadiense.

Dado que el subsistema de predicción del comportamiento utiliza información sobre vegetación con la que no se cuenta actualmente

en nuestro país, se comenzó en esta primer etapa con la adaptación e implementación operativa de la componente meteorológica únicamente. La complejidad propia de adaptar e implementar operativamente un sistema de evaluación de peligro, especialmente considerando las diferencias climáticas, las distintas problemáticas de fuego y las diversas características de los organismos de fuego en Argentina, se consideró conveniente iniciar las actividades en áreas piloto, para luego analizar su extensión al resto del país.

Los códigos e índices que componen este subsistema meteorológico, brindan información

sobre distintos aspectos del comportamiento del fuego, sirviendo por lo tanto de valiosa base para fundamentar decisiones operativas de prevención, presupresión y supresión del fuego. El *código de sequía del combustible fino* es indicador de la facilidad de ignición y por lo tanto de la probabilidad de la ocurrencia diaria de focos. El *índice de propagación inicial*, es indicador de la rapidez con la que se propagará el fuego una vez originado el foco y por lo tanto utilizado para la asignación de recursos de ataque inicial. El *índice meteorológico final*, resultante de combinar la velocidad de propagación con la carga disponible, es indicador de la intensidad de línea y, por lo tanto, de la posibilidad de efectuar un ataque directo.

Este sistema ya ha sido implementado operativamente en la Región Andina de la Provincia del Chubut y en los Parques Nacionales Lanín y Los Alerces. Actualmente se está efectuando su extensión al Parque Nacional Nahuel Huapi y a sectores de jurisdicción provincial de Río Negro y Neuquén, integrando así a gran parte de la Región Andino Patagónica al uso de un sistema común. Se comenzó en forma incipiente, con los análisis preliminares de datos para su adaptación a la Provincia de Misiones. La utilización de un sistema único permite a los distintos organismos de manejo del fuego tomar decisiones basadas en criterios similares que facilitan el desarrollo de actividades conjuntas. Establecer un sistema único de evaluación de peligro, tanto a nivel regional como nacional, permitirá comparar la situación de distintas regiones y definir así criterios objetivos para priorizar la asignación de recursos.

La información meteorológica histórica y la relacionada a la ocurrencia de fuegos es en nuestro país sumamente limitada. Los registros históricos de ocurrencia de fuego constan en su mayoría de información general, tal como la fecha de inicio, de control de los incendios y la superficie y vegetación afectadas. No detallan aspectos del comportamiento del fuego como la velocidad de propagación, altura de llamas, coronamientos, etc. En lo que a información meteorológica se refiere, son escasas las estaciones que cuentan con series de datos de largos períodos. Estos aspectos limitan enormemente los ajustes locales de cualquier sistema de evaluación de peligro de incendios, por lo que en las áreas de implementación es necesario capacitar al personal no sólo en la interpretación de los indicadores del sistema en cuestión, sino también en la recopilación de información durante el desarrollo de los incendios, que permita efectuar los ajustes necesarios en el futuro.

4. Aspectos meteorológicos relevantes para el comportamiento del fuego

Los fenómenos meteorológicos pueden clasificarse, de acuerdo con la superficie que abarcan y con su periodo de duración, en fenómenos de escala global, de escala sinóptica, de mesoescala y de microescala. Los fenómenos de microescala, de dimensiones espaciales de unos pocos metros y algunos minutos de duración, como por ejemplo los torbellinos de polvo producen alteraciones en el flujo de aire. Los fenómenos de mesoescala afectan áreas que abarcan desde unos pocos hasta alrededor de los 100 kilómetros y su duración varía entre varios minutos y algunas horas; los vientos de pendiente o de valle que se desarrollan en las regiones montañosas son un ejemplo de los fenómenos de esta escala. Las circulaciones de escala sinóptica afectan áreas de cientos y hasta de miles de kilómetros, siendo algunos ejemplos los ciclones, anticiclones y los frentes. Los fenómenos de mayor escala se denominan de escala global o planetaria tienen una duración de semanas o meses, se relacionan con la circulación general de la atmósfera y son críticos en la determinación aspectos tales como la dirección de vientos dominantes en una región o de la época de ocurrencia de precipitaciones (Dentoni y Cerne 1999).

El estado del tiempo en el lugar y momento en que tiene lugar un incendio o una quema prescripta está condicionado por la suma de fenómenos de distintas escalas. Así las variables meteorológicas observadas en superficie, tanto en estaciones meteorológicas como con kits meteorológicos manuales brindan los valores alcanzados por variables como la temperatura o humedad, resultantes de la sumatoria de todos estos efectos. La observación de estas variables en el terreno es de gran importancia por su estrecha relación con el estado de los combustibles. Así también permite detectar rápidamente cambios en las condiciones atmosféricas que puedan modificar el comportamiento del fuego.

Con frecuencia se registran valores críticos de las variables meteorológicas de superficie en una extensa región asociados a incendios simultáneos de grandes dimensiones y comportamiento extremo (Byram 1954). Tales situaciones se producen por fenómenos meteorológicos de escala sinóptica. Cuando se conjugan situaciones sinópticas críticas con condiciones globales también críticas, se originan situaciones de mayor peligro de incendios (Brotak y Reifsnnyder 1977).

A estos fenómenos de escala global y sinóptica, se suman aquellos de meso y de microescala propios del sitio donde se desarrolla el incendio y que dan características propias al comportamiento del fuego en cada caso.

Si bien se analizan con mayor frecuencia el efecto de las variables meteorológicas de superficie sobre comportamiento del fuego no son menos importantes las condiciones meteorológicas que se desarrollan hasta varios miles de metros de altura. Los incendios de pequeñas dimensiones son gobernados por las propiedades de los combustibles y los movimientos de aire que ocurren a hasta algunos pocos metros sobre la superficie; los incendios de grandes dimensiones están gobernados por los procesos atmosféricos que se desarrollan a grandes alturas (Chandler *et al.* 1991).

La estructura vertical de la atmósfera condiciona la ocurrencia de situaciones de altísimo riesgo. Byram (1954), analizando las condiciones meteorológicas asociadas a situaciones de rápida transición al comportamiento extremo del fuego, encontró que una de ellas es la presencia de perfiles de viento con variación de la velocidad con la altura. Así, vientos de altura de dirección diferente a la del viento de superficie puede llegar a la altura del incendio transformando un fuego de flanco en uno frontal. Esto ocurrió en el año 1994 cuando 25 combatientes perdieron la vida combatiendo un incendio en las cercanías de la ciudad de Puerto Madryn (Dentoni *et al.* 2001). La variación de la temperatura con la altura tiene también importantes efectos sobre el comportamiento del fuego. La ocurrencia de inversiones térmicas genera situaciones de estabilidad atmosférica que inhiben la actividad del fuego. Sin embargo, la ruptura de estas inversiones genera rápidos incrementos en la actividad del fuego causando numerosos accidentes.

La observación, recopilación y análisis de las situaciones meteorológicas asociadas a períodos de alta carga de fuego ha servido para que, países como Canadá y Estados Unidos, desarrollen técnicas objetivas para su identificación (Bennett 1995; Archibald 2000). Esta información es utilizada por los pronosticadores meteorológicos para anticipar la ocurrencia de condiciones meteorológicas de peligro para los incendios.

Algunos de los patrones mencionados en el párrafo anterior son propios de determinadas regiones, por lo que su identificación requiere de análisis locales, mientras que otros han sido encontrados reiteradamente en el análisis de condiciones meteorológicas asociadas a incendios de comportamiento extremo en distintas regiones del mundo. Un ejemplo son los denominados frentes fríos, cuya aproximación y pasaje por el lugar donde se desarrolla un incen-

dio ha sido causa de numerosas situaciones de extrema peligrosidad y de pérdidas de vidas humanas y de bienes materiales en diversos países (Rasmussen y Fogarty 1997; Rosenbrance *et al.* 1994; Defossé *et al.* 1999).

5. Servicios de apoyo meteorológico en el manejo del fuego

Para contar con información meteorológica de apoyo para las distintas actividades de manejo del fuego es necesario establecer programas de cooperación entre los servicios meteorológicos y los organismos que llevan a cabo estas actividades, a los efectos de que se pauten los objetivos y metodologías de trabajo.

La naturaleza de estos programas, su complejidad, grado de sofisticación y dimensiones estarán determinadas por los criterios y políticas regionales o nacionales y serán acordes con los objetivos de manejo del fuego propuestos (Reifsnyder y Albers 1994). Los objetivos y responsabilidades específicas de las instituciones participantes deben estar claramente especificados en lo referido a nivel y tipo de datos requeridos, elaboración de informes y difusión de los resultados. Generalmente, los servicios meteorológicos efectúan los pronósticos de acuerdo a un esquema acordado con los organismos de manejo del fuego. Estos últimos realizan la evaluación de peligro, elaboran los avisos al público sobre situaciones de críticas y toman las medidas administrativas necesarias en base a la información recibida (Reifsnyder y Albers 1994).

La implementación operativa de este tipo de servicios requiere de personal capacitado en el tema, tanto para la elaboración de pronósticos meteorológicos que contemplen los aspectos relevantes para el comportamiento del fuego, como por parte del personal que participa de la lucha contra incendios o que conduce quemas prescriptas. Por este motivo, el desarrollo de un servicio de apoyo meteorológico tiene que estar acompañado de un programa de capacitación específico.

Asimismo, la calidad del servicio estará de alguna manera condicionada por la disponibilidad de información. Las redes de estaciones meteorológicas tiene que ser lo suficientemente densas como para permitir una evaluación regional del peligro de incendios y proveer a los servicios meteorológicos los datos básicos necesarios. Las estaciones utilizadas pueden pertenecer a diferentes organismos, siendo en todos los casos necesario que las mismas cumplan con los estándares en lo referido a ubica-

ción y características del instrumental, de manera que los datos obtenidos sean confiables y comparables entre estaciones (Turner y Lawson, 1978). Es también importante contar con instrumental meteorológico para la toma de datos en el lugar en el que se desarrolla un incendio o quema, e informar a los pronosticadores sobre la situación local de modo que se puedan verificar y ajustar los pronósticos elaborados. " *El trabajo del pronosticador meteorológico para incendios es bastante especial. Es uno de las pocas actividades que se desarrollan en los Servicios Meteorológicos, en la cual los pronosticadores tratan con un grupo bien definido de usuarios que retroalimentan la información en tiempo real*" (Gorski 1995)

5.1 Servicio de apoyo meteorológico en nuestro país

En el año 2002 el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Plan Nacional de Manejo del Fuego (PNMF) firmaron un acuerdo de cooperación mutua para el desarrollo de un Servicio Meteorológico de Apoyo en Manejo del Fuego. A través de dicho acuerdo se estableció un programa que especifica las responsabilidades de cada uno de los organismos y las metodologías de trabajo.

La implementación de este programa permite a los organismos de manejo del fuego contar con pronósticos meteorológicos en un formato estándar, en horarios predeterminados y con contenidos relevantes para incendios. Los mismos son elaborados por pronosticadores del SMN y acompañados de avisos o alertas por condiciones críticas para el comportamiento del fuego confeccionados por personal del PNMF.

Los resultados al presente han sido altamente positivos y significan un importante avance para garantizar la seguridad del personal de combate durante las actividades de control y del público en general, así como también la eficiencia en la planificación del combate de incendios y la ejecución de quemas prescriptas.

Un caso a destacar es el del incendio 'Estancia Paso Limay', ocurrido en las cercanías de Bariloche en febrero del año 2003. Durante este evento, el pronóstico de la aproximación de un sistema frontal y de una rotación e incremento en la velocidad del viento, acompañado de un alerta asociado a las condiciones meteorológicas de peligro, que podrían hacer variar el comportamiento del fuego originó la suspensión de las operaciones nocturnas evitando así la presencia del personal en el terreno en el momento en que el incendio alcanzó comportamiento extremo (Molina *com. pers.*).

El programa de cooperación entre ambos organismos contempla, además de la emisión de pronósticos durante el desarrollo de incen-

dios o la ejecución de quemas, la comunicación de alertas regionales. Esta actividad se implementará gradualmente, a medida que el intercambio de información entre ambos organismos permita caracterizar las situaciones meteorológicas de peligro de incendios para las distintas regiones del país. Asimismo, el SMN provee al PNMF de los valores pronosticados a 24, 48 y 72 hs, de las variables utilizadas para el cálculo de índices meteorológicos. Esta actividad se lleva adelante en forma experimental en las áreas piloto de adaptación e implementación del Sistema Canadiense. Con una frecuencia de dos veces por semana, los responsables jurisdiccionales de cada área efectúan el cálculo de índices pronosticados y toman las medidas operativas acordes con el grado de peligro esperado.

6. Reflexiones finales

El clima de una región es uno de los factores que influyen significativamente sobre los regímenes de fuego de los distintos ecosistemas. Por ello, cualquier cambio en las condiciones climáticas se reflejará muy probablemente en cambios en las características de estos regímenes. Sin embargo, interpretar cual será el efecto de las modificaciones del clima sobre la ocurrencia y el comportamiento del fuego requiere de un profundo conocimiento de los principios que rigen las interacciones entre ambos. El comportamiento de cada evento de fuego en particular estará afectado por el estado del tiempo durante su ocurrencia y de su influencia directa sobre variables como la velocidad y dirección de propagación.

Los Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios de Vegetación intentan explicar las interacciones entre el fuego y el medio en el que éste se desarrolla. Asociados a predicciones del cambio climático permiten analizar escenarios futuros de peligro de incendios y definir políticas de manejo de fuego a mediano y largo plazo. Su desarrollo e implementación requieren de largos procesos de trabajo conjunto entre investigadores científicos y personal operativo de los Servicios de Manejo del Fuego para obtener así productos confiables en los cuales basar decisiones. En Argentina se ha comenzado a implementar un Sistema de Evaluación de Peligro en áreas piloto, que se espera extender al resto del país. El uso de un Sistema común a nivel nacional, permitirá comparar el grado de peligro entre las distintas áreas y hacer una mejor distribución de los recursos.

Los Servicios Meteorológicos trabajando en cooperación con los Organismos de Manejo de

Fuego proveen de la información meteorológica que permite anticipar el grado de peligro. Asimismo, durante los incendios brindan Información sobre fenómenos que se desarrollan en la atmósfera y que pueden modificar significativamente el comportamiento del fuego. Aunque incipiente, el Programa de Apoyo

Meteorológico que llevan adelante en forma conjunta el SMN y el PNMF, significa un enorme avance para hacer más eficientes las actividades de prevención, la asignación de recursos de presupresión y la definición de tácticas y estrategias de supresión y para la seguridad de los combatientes y de la población en general.

7. Bibliografía

Ahrens C. 1994. *Meteorology today. An introduction to weather, climate, and the environment*. Segunda edición. West Publishing Company. 600pp.

Alexander M. 1989. Fiji adopts Canadian system of fire danger rating. *International Forest Fire News II* (1):3

Alexander M y F Cole. 1995. Predicting and interpreting fire intensities in Alaskan black spruce forests using the Canadian system of fire danger rating. *Proceedings 1994. Society of American Foresters/Canadian Institute of Foresters Convention*. SAF Publication 95-02. Society of American Foresters, Bethesda, Maryland. pp 185-192.

Archibald B. 2000. *Weather for fire operations*. True North Weather Consulting Inc. Government of the Northwest Territories, Department of Resources, Wildlife, and Economic Development. Government of British Columbia, Ministry of Forests. 142 pp.

Bennett G. 1995. Critical fire weather patterns. Unidad 6-B en: *National Fire Weather Forecasters Training Course*. S-591. U. S. National Weather Service. 7 al 16 de marzo. Boise, Idaho. 16 pp.

Brotak E y W Reifsnyder. 1977. An investigation of the synoptic situations associated with major wildland fires. *Journal of Applied Meteorology*. 16: 867-870.

Byram G. 1954. Atmospheric conditions related to blowup fires. *Station Paper N° 35*. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Southeastern Forest Experiment Station. Asheville, North Carolina. 33 pp.

Chandler C, P Cheney, P Thomas, L Trabaud y D Williams. 1991. *Fire in forestry. Forest fire behavior and effects*. Vol. 1. Krieger Publishing Company. Florida. 291pp.

Countryman C. 1966. Rating fire danger by multiple basic index system. *Journal of Forestry*. 64: 531-536.

Critchfield H. 1983. *General Climatology*. Cuarta Edición. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. 453 pp.

Deeming J, R Burgan y J Cohen. 1977. *The National Fire Danger Rating System*. Gen. Tech. Rep. INT-39. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, Utah. 63 pp.

Defossé G, Rodríguez N, Dentoni M, Muñoz M y H Colomb. 1999. Condiciones ambientales y bióticas asociadas al incendio "San Ramón en Bariloche, Río Negro, Argentina, en el verano de

1999". Pag. 91 en: Resúmenes, I Reunión Binacional de Ecología, XX Reunión Argentina de Ecología y X Reunión de la Sociedad de Ecología de Chile. Bariloche, Río Negro. 23 al 27 de abril.

Dentoni M, G Defossé, J Labraga y H del Valle. 2001. Atmospheric and fuel conditions related to the Puerto Madryn fire of January 21, 1994. *Meteorological Applications*. 8: 361-370.

Dentoni M y M Muñoz. 2000. Sistemas de evaluación de peligro de incendios. Plan Nacional de Manejo del Fuego, Secretaría de Desarrollo Sustentable y Ambiente Humano. Informe Interno. 29 pp.

Dentoni M y S Cerne. 1999. La atmósfera y los incendios. Plan Nacional de Manejo del Fuego. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. 180 pp.

Flannigan M, Wotton M, Carcaillet C, P Richard P, Campbell I. y Y. Bergeron. 1998. Fire weather: past, present and future. III International Conference on Fire and Forest Meteorology. 14 th Conference on Fire and Forest Meteorology, Luso, Portugal, 16 al 20 noviembre. Vol I, pp 113 - 128

Fogarty L, H Pearce, W Catchpole y M Alexander. 1998. Adoption vs. Adaptation: Lessons from applying the Canadian Forest Fire Danger Rating System in New Zeland. III International Conference on Forest Fire Research. 14 th Conference on Fire and Forest Meteorology. Luso, Portugal, 16 al 20 de noviembre. Vol I, pp 1011-1028.

Fosberg M. 1998. Global change and fire risk. What do policy makers need to know?. III International Conference on Fire and Forest Meteorology. 14 th Conference on Fire and Forest Meteorology. Luso, Portugal, 16 al 20 de noviembre. Vol I, pp 3 - 21.

Goldammer J. 1998. The role of fire on greenhouse gas and aerosol emissions and land use cover change in southeast Asia: ecological background and research needs. 13th Conference on Fire and Forest Meteorology. Lorne, Australia, 27 al 31 de octubre. Vol I, pp 45 - 62.

Gorski C. 1995. Unidad I en: National Fire Weather Forecasters Training Course. 5-591. U. S. National Weather Service. 7 al 16 de marzo. Boise, Idaho.

Labraga J.. 1998. Escenario de cambio climático para la Argentina. *Ciencia Hoy*. 8: 44

Labraga J y M López. 1997. A comparison of the climate response to increases carbon dioxide simulated by general circulation models with mixed-layer and dynamic ocean representations in the region of South America. *International Journal of Climatology*. 17:1635-1650.

Overpeck J, D Rind y R Goldberg. 1990. Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation. *Nature* 343: 51-53.

Pyne S. 1984. Introduction to wildland fire. Fire management in the United States. John Wiley & Sons. 455 pp.

Reifsnnyder W y B Albers. 1994. Systems for evaluating and predicting the effects of weather and climate on wild-land fires. *World Meteorological Organization*. N°11. 34 pp.

Rasmussen J y L Fogarty. 1997. A case study of grassland fire behaviour and suppression: the Tikoino fire of 31 January 1991. *FRI Bulletin* N° 197. Forest and Rural Fire Scientific and Technical Series Report N°2". New Zeland Forest Research Institute. 18pp.

Rosenbrance L, M Reimers M, Johnson R, Webb J, Graber J, Clarkson M, Werth P, Husari S, Mangan D y T Putman. 1994. South Canyon Fire. *Wildfire*. 3(3): 3-21

Stocks B, Lawson B, Alexander M, Van Wagner C, Mc Alpine R, Lynham T y D Dubé. 1989. The Canadian forest fire danger rating system: an overview. *The Forestry Chronicle*. pp 450 - 458.

Taylor S. 2001. Consideraciones para la aplicación del Sistema Canadiense de Evaluación de Peligro de Incendios Forestales en Argentina Servicio Forestal Canadiense. Informe Interno. Centro Forestal del Pacífico. Recursos Naturales de Canadá. 38 pp.

Turner J y B Lawson. 1978. Weather in the canadian forest fire danger rating system. A users guide to national standards and practices. Environment Canada. Forestry Service. 40 pp.

Valentine J. 1978. Fire danger rating in New Zeland: review and evaluation. *Forest Establishment Report* No 123. New Zeland Forest Service, Forest Research Institute, Production Forestry Division, Rotorua. 53 pp.

Van Wagner C. 1987. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. *Forestry Technical Report* 35. Canadian Forestry Service; Ottawa, Ontario. 37 pp.

Vélez R. 1998. Aplicación de la predicción del peligro para prevención de los incendios forestales. Predecir para prevenir. Documentos Seminario métodos y equipos para la prevención de incendios forestales. ICONA. España. 79-88 pp.

Wotton B; Stocks B, Flannigan M, Laprise R y J Blanchet. 1998. Estimating future 2XCO₂ fire climates in the boreal forest of Canada using a regional climate model. III International Conference on Fire and Forest Meteorology. 14 th Conference on Fire and Forest Meteorology. Luso, Portugal, 16 al 20 de noviembre. Vol I, pp 1207- 1221.

Wright H y A Bailey. 1982. *Fire. Ecology*. John Wiley & Sons. USA. 501.

Fuego, calor y temperatura

Carlos Kunst¹ y Sandra Bravo²



Quemando un contrafuego, INTA EEA Sgo. del Estero 1996 Foto Fabio Moscovich

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero, e-mail: ckunst@correo.inta.gov.ar.

² Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, e-mail: sjbravo@arnet.com.ar.

1. Introducción

El fuego genera cambios positivos y negativos en el ambiente donde ocurre. Esos cambios, que serán expuestos en detalle en los capítulos siguientes, comienzan en la combustión y finalizan en modificaciones del ecosistema cuyo impacto puede observarse durante mucho tiempo. Para comprender e interpretar el fenómeno fuego y sus efectos es necesario conocer cuáles son los procesos y elementos básicos involucrados. Este es el objetivo de este capítulo.

2. La combustión

El fuego es el resultado del proceso químico de combustión, en el que se produce la oxidación y pirólisis del combustible. Cuando éste es de origen vegetal la combustión puede considerarse como la reacción inversa de la fotosíntesis (Trollope, 1984).

Cualquier combustible vegetal debe alcanzar un umbral de temperatura de $346^{\circ} \pm 40^{\circ}$ para que se inicie la combustión. El calentamiento del combustible produce vapor de agua y la destilación de productos orgánicos en forma de gases que reaccionan con el oxígeno del aire generándose llamas. Si el calentamiento continúa, este proceso se mantiene a sí mismo (Wright y Bailey, 1982).

El tiempo requerido para que un combustible inicie su combustión depende de su contenido de humedad, densidad o peso específico, calor específico, composición química, espesor del material, etc. En condiciones de campo, el contenido de humedad del combustible es el factor más importante que influencia su probabilidad de ignición. Por ello, información relacionada a la humedad relativa del ambiente y del combustible es un componente clave de programas de computación que predicen el comportamiento del fuego (por ej. BEHAVE; Andrews, 1986; BURN, Burns and Wright, 1991).

3. Tipos de combustibles y algunas de sus características

Los combustibles en los ecosistemas son diversos y se presentan en estratos (Figura 1). Algunos de los ecosistemas poseen casi todos los tipos, mientras que en otros sólo uno. Cada 'categoría' de combustible posee un ambiente de combustión diferente, debido a las características descritas en el párrafo anterior.

Los combustibles presentes en los ecosistemas pueden clasificarse en forma general de acuerdo al diámetro en:

- combustibles finos: aquellos cuyo diámetro es inferior a 0,5 cm (ej. pastizales, hojarasca de ciertas especies) y

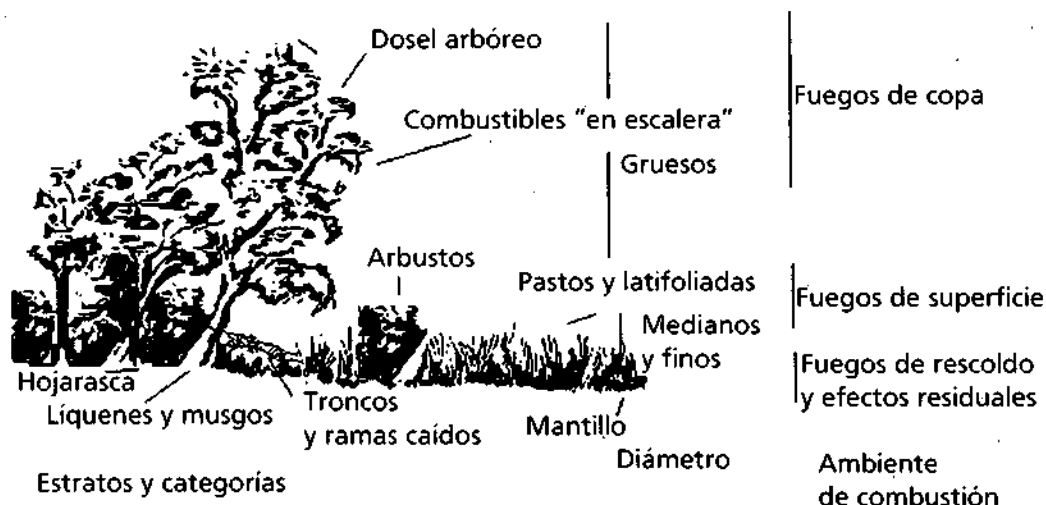


Figura 1. Estratos, categorías y diámetros de combustibles presentes en los ecosistemas y 'ambientes' de combustión asociados a cada uno de ellos (adaptado de Sandberg et al., 2001, Rodríguez 1998).

- combustibles medianos y gruesos: aquellos cuyo diámetro es superior a 0,5 cm (ramas y troncos de árboles y arbustos).

El combustible fino puede presentarse en pie (matas de pasto), en forma de mantillo (material dispuesto sobre la superficie del suelo) y en la base de las plantas en distinto grado de disgregación o descomposición (Figura 1). En general el fuego se inicia en este tipo de combustibles y desde allí se propaga a otros componentes del ecosistema. Su ignición es rápida y produce llamas visibles, violentas, que se encienden y apagan velozmente. Los cambios de contenido de humedad en función de la humedad relativa del aire se producen en lapsos de tiempo muy cortos en estos combustibles siendo el 'tiempo de retardo' (*lagtime*) en general de 1 hora.

Los combustibles medianos y gruesos adquieren importancia en sitios donde las leñosas arbustivas y arbóreas forman parte de la vegetación. Los mismos también pueden presentarse en pie (ej. arbustales de *Larrea* spp., jarilla) o en el suelo (pilas de leña). El encendido de este tipo de combustibles es más lento que en el caso anterior, pero arden tiempos considerables aun después del pasaje del frente de fuego principal y en condiciones climáticas extremas producen llamas muy altas. El tiempo de retardo con respecto a la humedad relativa del aire es mayor a 1 hora y puede llegar hasta 100 horas.

En los ecosistemas los combustibles pueden presentarse en estado 'puro' (ej. pastizales) o combinados con otros combustibles (arbustales y bosques con sotobosque de herbáceas). Para facilitar la clasificación se habla de 'modelos' (Rothermel, 1983), que se diferencian entre sí

por las proporciones de los diferentes tipos de combustibles en lo que que propaga el fuego. Los aumentos de temperatura y los efectos sobre el ecosistema serán la sumatoria de lo generado por cada uno de ellos.

4. Características de los combustibles

La principal característica de la estructura interna de las células y tejidos vegetales es la pared celular, que conforma los distintos tejidos y órganos de las plantas y que representa en sí el combustible presente en los distintos ecosistemas. Las sustancias químicas que los componen son similares, aunque su proporción varía entre los distintos órganos (Tabla 1).

La presencia de resinas y aceites esenciales aumenta la inflamabilidad y volatilidad de los combustibles naturales. (Elvira Martín y Hernando Lara 1989).

5. Combustibles y temperaturas

Durante la combustión se libera en forma de calor la energía capturada por el proceso de fotosíntesis. El calor se define como energía (E) en tránsito o en movimiento (Heinemann, 1993) y se transmite a los cuerpos vecinos (ej. el suelo) a través de los fenómenos de convección, radiación y conducción. La E liberada durante la combustión tiene tres destinos: los objetos y la atmósfera situados por encima del suelo, la super-

Tabla 1. Composición química y poder calorífico de combustibles vegetales (según Nelson, 2001; Elvira Martín y Hernando Lara, 1989).

Sustancias	Composición química (Porcentaje sobre materia seca)		Poder calorífico inferior ¹ kcal.kg
	Acículas de pino	Madera de pino	
Celulosa	} 35 - 44%	40 - 55 %	4150 - 4350
Hemicelulosa		15 - 25 %	--
Lignina	18 - 19 %	15 - 30 %	6100 - 6200
Materias varias y extractivos solubles en agua o solventes orgánicos (ej. resinas, ceras)	37 - 47%	2 - 15%	8500 - 10000
Cenizas	--	1 - 4 %	Variable

¹Poder calorífico inferior: poder calorífico superior menos el calor del agua de evaporación. El poder calorífico superior o calor de combustión de una sustancia es la cantidad de calor que se desprende de una sustancia cuando la misma es quemada en una bomba calorimétrica.

ficie del suelo propiamente dicha y el cuerpo del suelo. Se estima que un 75 % de la E liberada en un fuego de vegetación se dirige por encima del suelo y afecta los componentes 'aéreos' de los ecosistemas; sólo un 8 - 10 % de E (máximo 25 %) se transfiere hacia el interior del suelo produciendo alteración en sus componentes (Hungerford *et al.* 1991, Burrows 2000).

Los cuerpos cercanos al fuego (suelo, órganos vegetales) absorben la E mediante un proceso físico, que está bien estudiado y modelado en forma matemática (Vines 1981). La absorción de calor origina cambios en los cuerpos que pueden ser positivos o negativos, entre ellos el aumento de su temperatura. La medición de esos cambios de temperatura es un método válido para establecer e interpretar los efectos del fuego (Wright y Bailey 1982). Para ello pueden emplearse termocoplas eléctricas, sustancias que cambian de color según la temperatura que alcanza el fuego (lápices 'Tempil') y otros tipos de sensores.

Las temperaturas máximas alcanzadas varían con el tipo y las características físico-químicas del combustible, como por ej. el grado de compactación, aireación, estructura, contenido de aceites esenciales y/o ceras, etc. La curva de aumento de temperatura generada por fuegos de vegetación tiene una forma característica, que puede modelarse en forma matemática (Alexander 1982, Weber *et al.*, 1995, Figura 2)

5.1 Temperaturas por encima del suelo

La temperatura asciende en forma brusca y rápida hasta una altura entre 6 - 15 cm en combustibles finos, resultando 0,2 - 3 veces superior a la magnitud observada en la superficie del suelo. El valor máximo de temperatura al-

canzado depende de la cantidad y características químicas del combustible fino y de la velocidad del viento (Wright y Bailey, 1982).

El aumento de temperatura es mayor con combustibles gruesos y su máximo valor se ubica cerca de la altura máxima de la vegetación (por ejemplo, 1 - 1,2 m en un fachinal bajo según Wright y Bailey, 1982). La permanencia en el tiempo de temperaturas elevadas es mayor donde existe acumulación de este tipo de combustibles. En pilas de residuos forestales, en arbustales y bosques bajos la temperatura puede llegar hasta 1300 °C a los 6 m de altura. Aun en estado de cenizas, las pilas de residuos forestales tardan un tiempo considerable en enfriarse.

5.2 Temperaturas en la superficie del suelo

En combustibles finos, las temperaturas máximas promedio medidas en la superficie del suelo aumentan en relación lineal con la biomasa (kg/ha) de combustible quemado hasta un valor máximo de 300 - 400 °C. Estas temperaturas no son generalmente influenciadas por la temperatura y la humedad relativa del aire, la humedad del suelo (Wright y Bailey, 1982). La velocidad del viento es un factor importante, ya que al aumentar aviva la llamas favoreciendo la liberación de calor.

La acumulación localizada de combustible fino y distintos grados de compactación pueden causar variaciones en las temperaturas máximas promedio observadas. Así, en pastizales de *Elionorus muticus* (aibe) Kunst *et al.* (2000) en la región chaqueña informan temperaturas superiores a los 300 °C, mientras que Peláez (1995) y Boó *et al.* (1996) dan cuenta de temperaturas máximas promedio más altas (500 - 600 °C) en quemas experimentales en el Caldenal (Pcia. de La Pampa y Sur de la Pcia.

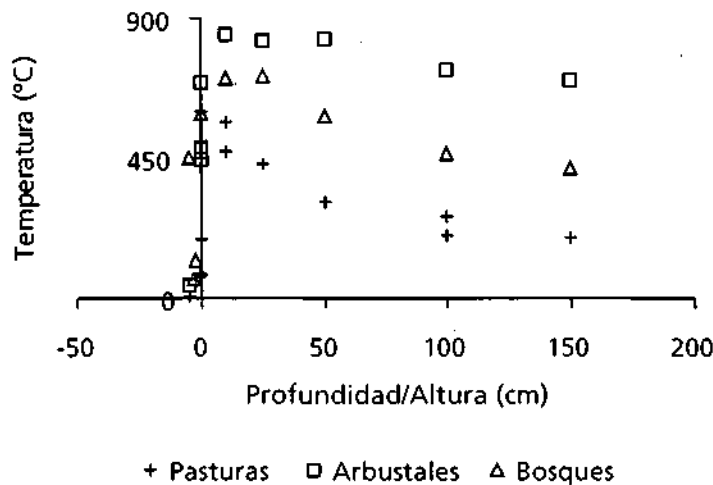


Figura 2. Temperaturas máximas alcanzadas en función de la profundidad (izquierda) o altura (derecha) en fuegos de vegetación. Datos extraídos de Wright y Bailey (1982), Archibold *et al.*, (1998), Bradstock y Auld (1995), Molina y Linares (2001), Ansley *et al.* (1998) y Boó *et al.* (1996).

de Buenos Aires), donde las pajas (*Stipa* spp.) son los combustibles finos dominantes.

En combustibles gruesos las temperaturas máximas en la superficie del suelo pueden variar entre 260 - 700 °C, de acuerdo con la intensidad de las quemas y llegar hasta 1000 °C bajo pilas de residuos forestales.

5.3 Temperaturas en el cuerpo del suelo (bajo superficie)

Debido a la baja conductividad calórica de los materiales que lo componen, la temperatura en el cuerpo del suelo desciende en forma brusca con la profundidad. En fuegos de pastizales, la temperatura aumenta sólo en el primer centímetro de suelo mientras que los cambios a mayor profundidad son despreciables (Wright y Bailey, 1982). Las temperaturas máximas promedio observadas en la literatura en este nivel del suelo son de 60 - 80 °C, para distintas clases de combustibles finos (Figura 2). La penetración del calor y el aumento de temperatura bajo combustibles gruesos es mayor. La cantidad de agua en el suelo juega un papel complejo en la transmisión del calor. Este se conduce más rápido en suelos húmedos; pero la evaporación del agua no permite que la temperatura se eleve por arriba de 95°C en un horizonte húmedo (Campbell et al., 1995).

6. Dinámica de la temperatura

La persistencia o tiempo de exposición a la temperatura máxima es muy importante desde un punto de vista ecológico, aspecto que ha sido estudiado en detalle para los combustibles

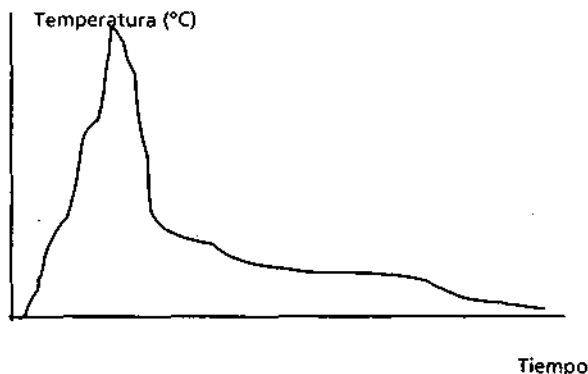


Figura 3. Dinámica general de la temperatura en función del tiempo.

finos (fuegos en pastizales). La dinámica de la temperatura sobre la superficie del suelo presenta en general un rápido incremento inicial hasta alcanzar un máximo para luego decaer lentamente (Figura 3). La temperatura máxima y la velocidad de caída están en función de la cantidad y características químicas de combustibles finos presentes. Wright y Bailey (1982) informan que temperaturas por arriba de los 66 °C persistieron entre 1 y 6 minutos con una cantidad de combustible fino de 7.000-8.000 kg.ha⁻¹. Con cantidades de combustible fino entre los 8.000 - 14.000 kg.ha⁻¹ temperaturas máximas de 500 - 600 °C se mantienen entre 1 y 2 minutos sobre la superficie del suelo.

La permanencia de altas temperaturas en la superficie del suelo en fuegos de combustibles gruesos (ej. arbustales) puede ser larga. Para el Chaparral de California se señala una persistencia de 15 minutos en temperaturas entre 300 y 700 °C. A 2,5 cm de la superficie del suelo las temperaturas variaron entre 90 y 195 °C, alcanzando un valor de 50 °C a los 5 cm (De Bano 1977, citado por Wright y Bailey, 1982).

La composición química de los combustibles influye directamente sobre la marcha de la temperatura. Bradstock et al. (1992) comunican mayores temperaturas en la superficie del suelo bajo hojarasca de Eucaliptus, rica en aceites esenciales, en comparación con hojarasca de Acacia y Triodia, esta última especie una gramínea de alta inflamabilidad, pero que no posee aceites esenciales.

7. Consideraciones finales

Los combustibles al quemarse emiten calor, que se transmite por distintos medios a los cuerpos circundantes. En consecuencia, los mismos aumentan su temperatura y sufren transformaciones. Las temperaturas máximas alcanzadas varían de acuerdo al tipo de combustible: los finos no superan en promedio los 100 - 200 °C en la superficie del suelo, disminuyendo la temperatura rápidamente a medida que nos alejamos de la fuente de calor en función del tiempo y espacio. En los combustibles gruesos, las temperaturas que se alcanzan a nivel y por arriba del suelo son altas y pueden superar los 1000 °C fácilmente. En profundidad, la penetración del calor puede llegar hasta los primeros 10 - 20 cm del suelo. Información complementaria para la interpretación de los efectos del fuego sobre distintos componentes del ecosistema se brindará en los capítulos siguientes.

8. Bibliografía

- Alexander M. 1982. Calculating and interpreting forest fire intensities. *Can J. Botany* 60: 349 - 357.
- Andrews P. 1986. BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modelling system. BURN subsystem, part 1. USDA Forest Service Intermountain Research Station, GTR INT 194.
- Ansley R, D Jones, T Tunnell, B Kramp y P Jacoby. 1998. Honey mesquite canopy responses to single winter fires: relation to herbaceous fuel, weather and fire temperature. *International Journal of Wildland Fire* 8: 241-252.
- Archibold O, L Nelson, E Ripley y L Delaney. 1998. Fire temperatures in plant communities of the Northern mixed prairie. *Canadian Field Naturalist* 112: 234-240.
- Boó R, D Peláez, S Bunting, O Elía y M Mayor. 1996. Effect of fire on grasses in central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments* 32: 259-269.
- Bradstock R. A. y T. D. Auld. 1995. Soil temperatures during experimental bushfires in relation to fire intensity: consequences for legume germination and fire management in south eastern Australia. *J Appl. Ecology* 32: 76-84.
- Bradstock R. A., T. D. Auld, M. E. Ellis y J. S. Cohn. 1992. Soil temperatures during bushfires in semiarid mallee shrublands. *Aust. J. Ecol.* 17: 433-440.
- Burns J y H Wright. 1991. BURN: User's manual for rangeland burning expert system. Texas Tech University.
- Burrows N. 2000. A soil heating index for interpreting ecological impacts of jarrah forest fires. *Australian Forestry* 62: 320-329.
- Campbell G, J Jungbauer, K Bristow y R Hungerford. 1995. Soil temperature and water content beneath a surface fire. *Soil Science* 159: 363-374.
- Elvira Martín C y C Hernando Lara. 1989. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Inst. Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid.
- Heinemann A. G. 1993. Física: mecánica, fluidos, calor. Ed. Estrada, Buenos Aires.
- Hungerford R, M Harrington, W Frandsen, K Ryan, G Niehoff. 1991. Influence of fire on factors that affect site productivity. p. 32-50. En: A. Harvey y L. Neuenschwander (eds), *Proceedings - Management and Productivity of Western - Montane Forest Soils*. U. S. D. A. Forest Service GTR INT-280.
- Kunst C, S Bravo, F Moscovich, J Herrera, J Godoy & S Vélez. 2000. Control de tusca (*Acacia aroma* Gill ap. H. et A.) mediante fuego prescripto. *Revista Argentina de Producción Animal* 20: 199-213.
- Molina M y J Linares. 2001. Temperature-time curves at the soil surface in maquis summer fires. *International Journal of Wildland Fire* 10:45-52.
- Nelson R. 2001. Water relations of forest fuels. Cap. 4, p. 79-149. En: E. Johnson y K. Miyanishi: *Forest fires: behavior and ecological effects*. Academic Press San Diego.
- Peláez D. 1995. Empleo y efecto del fuego en los pastizales; p. 23-32. En: *Actas Jornadas de Cría en Campos de Monte*. I. D. E. V. I. - I. N. T. A. - Cambio Rural.
- Rothermel R. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. U. S. D. A. Forest Service, GTR INT - 143.
- Sandberg D, R Ottmar y G Cushon. 2001. Characterizing fuels in the 21st Century. *International Journal of Wildland Fire* 10: 381-387.
- Trollope W S W. 1984. Fire behaviour, Cap. 9, p. 199-217. En: P. de Booyesen y N. Tainton (eds): *Ecological effects of fire in South African ecosystems*. Springer Verlag, Berlin - N. Y.
- Vines R G. 1981 (reimp. 1993). Physics and chemistry of rural fires. Cap. 6, págs. 129-149. En: A Gill, R Groves y I Noble (Eds) *Fire and the Australian Biota*. Australian Acad. of Sciences, Canberra, Australia.
- Weber R, A Gill, P Lyons, P Moore, R Bradstock y G Mercer. 1995. Modelling wildland fire temperatures. *CALMScience Supplement* 4: 23-26.
- Wright H: y A. Bailey. 1982. *Fire Ecology in the United States and southern Canada*. J. Wiley & Sons, N. Y.

El fuego y el suelo

Ada Albanesi¹ y Analía Anriquez¹

*No es el fuego lo que es dañino en sí,
sino su uso sin criterio en condiciones antiecológicas
(Franz 1968, citado por Scifres, 1987)*



Muestreo de suelo, luego de una quema – Foto: C. Kunst

¹ Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. e-mail: albanesi@unse.edu.ar/
albanesi@uolsinectis.com.ar

1. Introducción

El fuego no constituye un factor completamente antrópico ni es siempre perjudicial a los intereses humanos y a la conservación de la naturaleza: es un factor ambiental importante en muchos ecosistemas terrestres y lo fue mucho antes que el hombre intentara controlarlo (Mueller-Dombois y Goldammer, 1990). Es además un factor relativamente simple de controlar si lo comparamos con otros como las lluvias.

En muchos ecosistemas de regiones cálidas o secas el fuego es un factor limitante (recurso) y es un factor regulador. En estos ecosistemas los incendios leves, estacionales o periódicos presionan selectivamente sobre algunas especies que constituyen "tipos controlados por el fuego". Su supervivencia depende del mismo porque el fuego actúa como un descomponedor biológico de la hojarasca acumulada y seca, sobre la cual la biota no puede actuar o actuaría muy lentamente. Es importante destacar las quemadas leves, características de los ecosistemas controlados por el fuego y las quemadas controladas, de las quemadas intensas de bosques, que destruyen la comunidad vegetal.

Los efectos del fuego se ejercen sobre la co-

resiliente; ii) soportar una productividad primaria y secundaria neta sostenible; iii) proteger la calidad del ambiente' (Harris y Bezdicsek, 1994). Este concepto involucra a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

El fuego es un factor antrópico barato, de gran disipación de energía capaz de ejercer un efecto benéfico o causar un gran daño, y ello depende de muchos otros factores como su intensidad y frecuencia, el tipo de ecosistema y la escala espacial en que actúe. El fuego influye sobre los flujos de energía y la circulación de materia en los ecosistemas, sobre todo en el suelo, donde sucede gran parte del ciclo y balance de los nutrientes (Figura 1). En el suelo, la acción del fuego se asimila a un factor físico que actúa por transmisión de calor mediante los mecanismos de conducción, flujo de vapor y flujo de líquido, y donde el flujo de vapor es el mecanismo de mayor responsabilidad en la transferencia de calor (Hungerford *et al.*, 1991).

En general, se sostiene que el fuego afecta al suelo por las altas temperaturas y las cenizas, que modifican los ciclos de los nutrientes, aceleran la mineralización de la materia orgánica y generan una mayor concentración de gases y de humedad. En contraposición, existe información que señala que los efectos menciona-

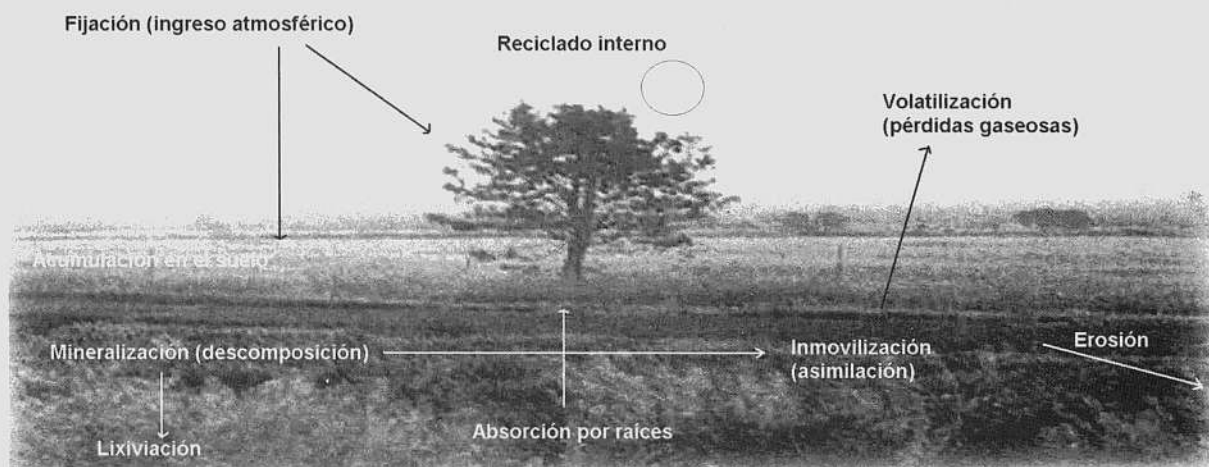


Figura 1. Simplificación de un ciclo de nutrientes. Procesos implicados. (Modificado de Kunst, 1996.)

comunidad vegetal y animal del ecosistema y también sobre el suelo, afectando sus propiedades físicas, químicas y biológicas. El suelo es un componente fundamental de los ecosistemas: la productividad y sostenibilidad dependen de su calidad, que se define como 'la capacidad de i) funcionar como un ecosistema diverso y

dos no deben atribuirse al fuego en sí mismo sino a su frecuencia e intensidad y, sobre todo, al manejo posterior del sitio quemado (Hobbs *et al.*, 1991).

Una serie de factores propios del ecosistema (por ej. cantidad de combustible) y otros propios del suelo, como la relación agua-aire, la

textura, la estructura, el contenido y la calidad de la materia orgánica, las tasas de reposición, etc., tornan dificultoso las relaciones de causalidad, porque modifican la transmisión de calor en el suelo y no permiten relacionar en forma directa la intensidad del fuego con las temperaturas que se logran en el mismo (Hungerford *et al.*, 1991) y, por lo tanto, dificultan la interpretación de los efectos del fuego sobre otros atributos de los ecosistemas.

El objetivo de este capítulo es revisar los efectos del fuego sobre el suelo y enfatizar sobre las consecuencias de los fuegos prescritos en ambientes semiáridos.

2. Efecto del fuego sobre las propiedades físicas y físico-químicas del suelo

2.1. Temperatura del suelo

El efecto del fuego en la temperatura del suelo es directo e indirecto (posfuego). Los efectos directos negativos del calentamiento se minimizan en fuegos de pastizales o fuegos de bosques con prescripciones porque los mismos son de baja magnitud y duración, y la profundidad del suelo hasta donde influyen es escasa (Imeson, 1995). La temperatura no cambia a profundidades de alrededor de 5 cm, los cambios más grandes se dan a 0,3 cm y, en general, se observan dentro de los primeros 2 cm del suelo.

La temperatura del perfil y la profundidad a la que se observa el efecto del fuego varían por influencia del contenido de agua edáfica, la cantidad de combustible, la duración de la exposición y las propiedades físicas del suelo (Scifres y O'Connor, 1987). La temperatura del suelo puede aumentar también después del fuego porque su superficie, ennegrecida por la ceniza, absorbe más eficientemente la radiación solar y, lo que es más importante, desaparece por un tiempo la protección natural de la vegetación y la necromasa y cambia la cantidad y calidad de radiación solar disponible.

2.2. Relación suelo-agua

Luego de un fuego, generalmente se reduce el contenido de agua del suelo, hecho que se atribuye a la evaporación en superficie. Sin embargo, el mayor efecto del fuego se debe al aumento de la demanda de agua del suelo por la promoción del crecimiento rápido de las plantas (Scifres y O'Connor, 1987).

El tiempo entre una quema y la primera estación de crecimiento posterior es el lapso en el que el suelo está desprotegido y tiene riesgos de pérdidas por escorrentía, evaporación y

erosión superficial. En definitiva, los cambios absolutos en los contenidos de agua en el suelo inducidos por el fuego también dependen del régimen y la cantidad de precipitaciones posfuego.

Algunos autores indican que el fuego disminuye la tasa de infiltración por generación de compuestos hidrofóbicos que se destilan y volatilizan desde la necromasa quemada y condensan en partículas del suelo. Sin embargo, Imeson (1995) indica que los suelos con este comportamiento ya eran hidrofóbicos antes del fuego. En quemas de pastizales, donde se quema poca cantidad de combustible, la probabilidad de que generen suelos repelentes al agua es muy baja. No obstante, en ecosistemas arbustificados se queman cantidades considerables de biomasa y de necromasa, lo que aumenta la probabilidad de presencia de sustancias hidrofóbicas.

Es probable también que la disminución de la tasa de infiltración sea debida a la compactación que genera el aumento de la carga animal (Scifres y O'Connor, 1987).

Algunos cambios inducidos por el fuego tienden a aumentar el contenido de agua en el suelo aunque otros tienden a disminuirlo (Daubenmire, 1968) porque aumenta la temperatura de los sitios quemados en la primavera y ello disminuye la viscosidad del agua que mejora la percolación. No obstante, la evaporación puede ser aumentada desde las superficies quemadas, y la mayor concentración de animales en pastoreo en áreas quemadas puede aumentar la densidad aparente y así reducir la infiltración de agua.

El mayor crecimiento de la vegetación posfuego puede interceptar más agua de lluvia y aumentar su contenido de agua en los primeros centímetros superficiales de los suelos quemados. Además, la remoción de especies estoloníferas o de sistemas radiculares semisuperficiales, que tienden a consumir el agua del suelo superficial, pueden conservar más humedad por reducción de crecimiento.

2.3. pH

En ecosistemas de pastizales, el fuego no modifica el pH, y si lo hace, es por poco tiempo o en forma moderada (Quaglia *et al.*, 1999). La oxidación de la necromasa, la reducción de ácidos orgánicos y el aumento de las bases luego de la liberación de sales de calcio, potasio, magnesio y sodio, promueven la basicidad (Daubenmire 1968; Kutiel e Inbar, 1993); pero estos cambios son temporarios porque las cenizas de estos minerales son solubilizadas por las lluvias e incorporadas al suelo.

El fuego no afectaría la capacidad catiónica ni los cationes intercambiables (Quaglia *et al.*,

1999), sobretodo en quemas controladas porque la combustión incompleta hace que no se modifiquen sustancialmente la relación de iones en el suelo, responsables de los cambios de pH (Abril y Gonzalez, 2000).

No obstante, los minerales liberados después de las quemas en pastizales son muy pequeños en comparación a los materiales que se quemaron, aunque aumentan su disponibilidad con lluvias post-fuego y posee relación con la textura del suelo.

El aumento del pH puede ser importante en áreas arbustificadas donde la combustión de restos de plantas leñosas resultan en el depósito de considerable cantidad de cenizas: La conductividad eléctrica tampoco es afectada (Franco-Vizcaino y Sosa-Ramirez, 1997), salvo en fuegos muy severos por la alta disponibilidad de material combustible (Hernández *et al.*, 1997).

2.4. Tamaño de los agregados

Altas frecuencias de fuego no modifican el tamaño de los agregados pero la distribución del tamaño de éstos puede variar en la estación de crecimiento posterior al fuego, sobre todo en los primeros 2 cm del perfil, disminuyendo la fracción de macroagregados mayores de 2000 mm y aumentando la fracción de microagregados menores a 250 mm. En la profundidad de 2-5 cm los cambios son menores y se observa la misma conversión de macroagregados a microagregados (García Oli-va *et al.*, 1999).

Quemas de frecuencia anual producen disminución de la biota del suelo, de la cantidad de raíces y generando combustión de la materia orgánica, lo que se traduce en una gran compactación y por lo tanto, en un notable aumento de la densidad aparente en los primeros cm del suelo. Sin embargo, quemas cada cinco años no tienen efectos en los horizontes superficiales, excepto por una leve disminución del espesor del horizonte A (Phillips *et al.*, 2000).

3. Efectos del fuego sobre la necromasa

Se define como necromasa a los residuos vegetales, animales y al mantillo. El efecto del fuego sobre la necromasa se observa en la formación y deposición de cenizas, a la que hicimos referencia en efectos sobre la temperatura, señalando una acción física relacionada a los cambios en la absorción de calor desde el suelo y otra acción en relación a la disminución de residuos para el ciclo siguiente de mineralización biológica.

La cantidad de cenizas depende de la cantidad y composición de la necromasa y de la biomasa aérea; y de la intensidad del fuego (Conteh *et al.*, 1998). Cuando la combustión es incompleta, como sucede en fuegos prescritos, las cenizas pueden contener apreciables cantidades de materia orgánica y nitrógeno, el cual modifica la biota del suelo (Sanchez y Lazzari, 1998). Por el contrario, a mayores temperaturas, el aporte de carbono y de nitrógeno es menor.

Grandes cantidades de diversos nutrientes, carbono y nitrógeno en particular, pueden ser volatilizados por el calor de combustión o arrastrados por las corrientes de convección. La susceptibilidad al transporte/volatilización se considera en el siguiente orden: Nitrógeno > Carbono > Sodio > Calcio > Fósforo > Potasio > Magnesio (Trabaud, 1994).

Una proporción de la materia suspendida en partículas en el humo es redepositada en el área quemada o en las comunidades de plantas de los alrededores del fuego. Aunque estas cenizas en la superficie del suelo, están fácilmente disponibles para la absorción de las plantas, son altamente susceptibles a las pérdidas por erosión o lavado, particularmente en pendientes (Trabaud, 1994).

La frecuencia de fuego es importante, porque una sola quema puede no tener influencia significativa en el contenido de materia orgánica del suelo. Las quemas anuales repetidas pueden reducir el contenido de humus de la superficie del suelo porque se disminuye la acumulación de residuos orgánicos.

Para evaluar la severidad de los fuegos, prescritos o accidentales, se puede medir el grado de consumo de la necromasa, o cuantificar las modificaciones de la materia orgánica nativa, o valorar las variaciones en la estructura y funcionalidad de la biota del suelo. En la práctica, se puede evaluar el consumo del material combustible. Los fuegos pueden ser de baja intensidad, es decir que consumen en forma parcial el material combustible; o muy intensos, que lo volatilizan totalmente. En el primer caso, los efectos sobre el ecosistema pueden ser positivos, en el segundo muy negativos. La formación de "puntos calientes" es escasa en fuegos de pastizales y parques, y aumenta en bosques donde incrementa la densidad de troncos, ramas y árboles secos. Por ello, la escala utilizada es sumamente importante a la hora de evaluar el efecto del fuego ya que, a nivel de sitio, los recursos de agua, la intensidad, el micrositio y la profundidad del suelo son variables importantes a considerar (Ragan *et al.*, 1993; Molina y Llinares, 1998).

4. Efectos del fuego sobre la materia orgánica del suelo

La materia orgánica (MO) de los suelos es una entidad multifuncional que varía cualitativamente y cuantitativamente de acuerdo al tipo de ecosistema, a las intervenciones que se realicen y al manejo posterior.

La MO está formada por numerosas sustancias de diferente estructura química y está presente en diferentes niveles de organización: desde la solución del suelo, en forma de nutrientes de distinta complejidad, hasta la asociación a diferentes tamaños de agregados, sin olvidar la relación con moléculas de constitución húmica, entre otras.

Las funciones de las distintas formas de la MO del suelo son múltiples y sus beneficios se traducen en el ecosistema, sobre todo, en el efecto amortiguador o "buffer" que brinda a todos los cambios de estructura y funcionamiento del subsistema suelo. La MO ejerce un efecto protector del impacto de la radiación y de las gotas de lluvia, mejora las condiciones de aireación y el flujo de agua en el suelo, colabora en la estructuración del mismo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, etc. (Harris y Bezdicsek, 1994). Sin embargo, un exceso de MO sin degradar produce efectos negativos: disminuye la temperatura del suelo que impide la germinación de semillas y el desarrollo de procesos biológicos; y actúa como pantalla que obstruye el acceso de luz a yemas basales.

Todo material orgánico es sometido a procesos de mineralización por la biota del suelo, liberando los elementos químicos que se vuelven disponibles para otros organismos (plantas, biota del suelo). Así, todo organismo vivo cumple dos funciones, es fuente y es destino de los nutrientes, y la biota del suelo es la "llave" que permite la conversión de una a otra función donde los nutrientes son "inmovilizados" constituyendo la fuente de más rápida disponibilidad para el siguiente ciclo de mineralización.

El tiempo que tarda la biota del suelo en poner en disponibilidad los nutrientes depende de varios factores, entre ellos el tipo de material a descomponer; por ej. los materiales celulósicos (propios de pastizales de gramíneas) pueden ser transformados en dos o tres estaciones de crecimiento, mientras que materiales más recalcitrantes, como lignina, aceites, taninos (propios de coberturas boscosas), pueden tardar mucho más.

El fuego afecta a la necromasa, a la MO nativa y a la biota del suelo, en forma directa e indirecta. El efecto directo es similar a la degra-

dación biológica porque los productos finales son similares. La única diferencia entre el fuego y el proceso de mineralización biológica es su velocidad: segundos vs. días a años (Wright y Bailey 1982; Hungerford et al., 1991; García Oliva et al., 1999).

Los efectos indirectos del fuego en la MO de los suelos se ejercen a través de una mayor insolación, que estimula la actividad microbiana detritívora; la remoción de la necromasa que pasa a constituir materia orgánica del suelo; la rizodeposición y la variación en el tamaño de los sistemas radiculares (Joffre y Ågren, 2001). El efecto del fuego varía de acuerdo a la temperatura alcanzada: entre los 200-300°C la MO se transforma por destilación, es carbonizada entre los 300-400°C y es consumida por arriba de los 450°C (De Banó, 1991).

Los efectos del fuego son particularmente perceptibles en los horizontes superficiales, donde se favorecen los procesos de erosión y se alteran los ciclos bioquímicos de los nutrientes por los cambios estructurales, pérdida de la MO y daños a la biota (Boone Kauffman et al., 1994; 1995). Aunque, en general, los fuegos incrementan la disponibilidad de los nutrientes en la superficie del suelo debido a la combustión de formas orgánicas y a la adición de cenizas desde la vegetación quemada, el contenido de nutrientes de los suelos puede disminuir, no afectarse o incrementar (Hernández et al., 1997). El fuego puede reducir el contenido y alterar la composición de la MO superficial, particularmente las fracciones lábiles, los compuestos solubles en agua y los lípidos, aunque sus efectos dependen de la intensidad del fuego (Caldwell et al., 2002). Por ej. Orioli y Curvetto (1978) sugieren que sólo las temperaturas que exceden los 250°C producirían cambios en la fracción húmica.

La piromorfia, es decir los efectos del fuego sobre la evolución del humus, comprende procesos tales como la destrucción por mineralización y carbonización de parte de los constituyentes orgánicos, alteración en la naturaleza y estructura química de las fracciones húmicas y el aporte al suelo de diversas formas de carbono orgánico y amorfo en forma de productos pirólicos y de restos de la vegetación quemada.

En quemas controladas se produce una destrucción selectiva de las fracciones húmicas poco evolucionadas y se incrementa el contenido de formas orgánicas estables de nitrógeno, en convergencia con la evolución natural del humus. Este nuevo tipo de humus tiene un grado de maduración mucho más elevado aumentando el grado de aromaticidad. Estas transformaciones podrían considerarse favorables para la fertilidad del suelo, teniendo en cuenta que las re-

percusiones negativas (pérdida de materia orgánica, destrucción de arcillas, etc.) no revisten magnitud excesiva, e incluso algunas de ellas pueden verse compensadas en un plazo de tiempo no demasiado largo (Almendros et al. 1984).

Una de las condiciones intrínsecas del suelo que influyen en el efecto del fuego es la textura: el carbono orgánico del suelo aumenta en pastizales de suelos arcillosos sometidos a fuegos y disminuye en suelos arenosos (> 50 % de arena), posiblemente debido a que los organismos descomponedores no están estabilizados (Christensen, 1987). Otra de las condiciones que influye en el efecto del fuego es el sitio de pastizal. En áreas bajas de la Región Chaqueña, si predominan gramíneas ricas en materiales más lábiles, disminuye la materia orgánica por acción del fuego prescripto y varía la distribución en los diferentes tamaños de agregados por mermas en el carbono asociado a los macroagregados pequeños y a la microagregación (Montenegro, 2002).

Una tercera condición que influye en el efecto del fuego es la frecuencia de las quemas: a mayor frecuencia hay disminución del carbono y del nitrógeno total, del carbono y el nitrógeno de la MO relacionada a la macroagregación y a la microagregación y del nitrógeno de la biomasa microbiana, demostrando que las repetidas quemas reducen la MO así como la actividad biológica del suelo (Gonzalez et al., 2001)

Otra condición es el pulso de mineralización, sobre todo en áreas con climas semiáridos donde la acumulación de materia orgánica es lenta por la escasa productividad de la biogeocenosis y por la más rápida mineralización de la MO, por lo que cualquier proceso que tienda a disminuir el contenido de humus es peligroso para la estabilidad del suelo (pérdida de estructura, efecto protector frente a la erosión de la hojarasca, etc.). Ese es el riesgo de los fuegos prescriptos para reducir el combustible forestal; los cuales deben realizarse en condiciones sumamente controladas actuando sobre la biomasa y la necromasa aérea, no así en horizontes orgánicos ni en orgánico-minerales, para enriquecer al suelo de MO y que sus cenizas sean fuentes de fertilidad y no de degradación (Ibañez et al., 1983).

5. Efecto del fuego sobre los nutrientes del suelo

El fuego ejerce un efecto directo sobre los nutrientes durante el proceso de combustión, por la violenta mineralización de la MO; y un efecto indirecto por cambios en el ambiente después del fuego. Pero este efecto no sólo de-

pende de la temperatura alcanzada sino también de numerosos factores como la humedad del combustible, topografía, la técnica de ignición, y la temperatura del aire, entre otros (Cook, 1994; Kunst, 1996).

Por su sensibilidad al calor, los nutrientes pueden clasificarse en (De Bano, 1991).

- Sensibles: Nitrógeno (N) y Azufre (S), con temperaturas de volatilización entre 200°C y 375°C.

- Moderadamente sensibles: Potasio (K) y Fósforo (P) con temperaturas de volatilización entre 700°C y 800°C.

- Relativamente insensibles: Magnesio (Mg), Calcio (Ca) y Manganeseo (Mn), con temperaturas de volatilización de 1107°C, 1484°C y 1962°C, respectivamente.

Kunst y Rodríguez (1997) indican las pérdidas de nutrientes del suelo en relación a la temperatura e incluyen al agua y a las arcillas (Figura 2).

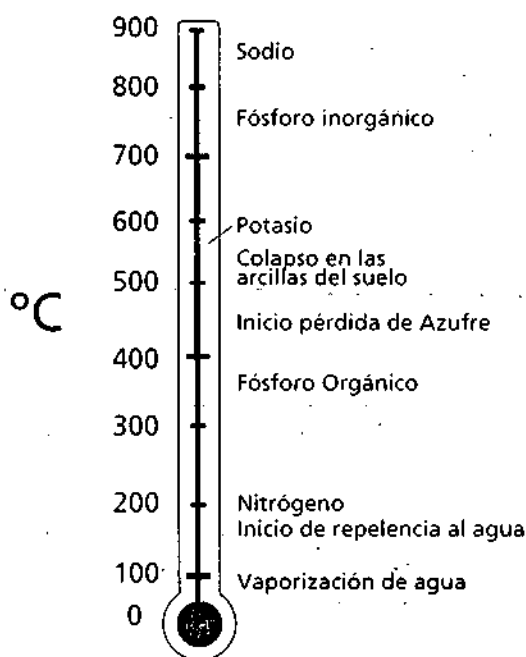


Figura 2. Efecto de la temperatura en los nutrientes del suelo, el agua y las arcillas (Kunst y Rodríguez 1997).

El consumo del combustible por parte del fuego es variable en los distintos tipos de vegetación (Tabla 1). Las cenizas, ricas en Ca, P, K, etc. favorecen el crecimiento de las plantas porque mediante las lluvias o el riego incorporan elementos al suelo bajo formas disponibles para el crecimiento vegetal. Este efecto es mayor en quemas de bosques (Quirine et al., 2000).

Tabla 1. Análisis químico elemental de cenizas provenientes de distinta cobertura de vegetación, en porcentaje (Ulery et al. 1993).

Cobertura dominante	Elemento								
	Ca	Mg	Na	K	Si	Al	Fe	Mn	P
<i>Quercus engelmannii</i> (roble)	38,5	0,9	0,1	4,2	0,1	trazas	trazas	trazas	0,1
<i>Pinus ponderosa</i> (pino)	31,3	0,7	0,1	0,4	0,3	0,5	0,1	0,1	0,2
<i>Pinus ponderosa</i> <i>Pseudotsuga menziesii</i> (pino oregón)	9,4	0,1	trazas	0,1	0,4	1,9	0,4	0,6	0,2

La combustión de los tejidos de las plantas volatilizan sulfuros y N y convierten las sales más simples en sales solubles en agua. Los iones más móviles (cationes monovalentes, cloruros, etc.) son los que más fácilmente podrían exportarse de la comunidad, empobreciéndose de los mismos (Ibañez et al. 1983), pero ello depende de los tipos de fuego y del tipo de vegetación (Tabla 2).

A pesar de las presuntas pérdidas de elementos, especialmente de aquellos que pertenecen a un ciclo gaseoso, el suelo se enriquece en los mismos si la combustión de la biomasa y necromasa se produjo exclusivamente a nivel aéreo y no afectó al medio edáfico (Ibañez et al. 1983) y la pérdida de los elementos se registran en los primeros cm de suelo (Boone Kauffman et al., 1994; 1995).

En algunos ecosistemas se recircula el N perdido por el fuego debido a una mayor actividad microbiana y a la promoción de plantas en simbiosis con fijadores de N atmosférico. Aún así, el N puede disminuir por el gran crecimiento posfuego de la vegetación (Ajwa et al., 1999). De esta manera, la actividad microbiana se constituye en el regulador de la dinámica del N aumentando la disponibilidad por mineralización al comienzo de la estación de crecimiento y conservando el N por inmovilización al final de dicha estación (Choromanska y De Luca, 2001).

En bosques degradados de la Región Chaqueña, en quemas superficiales y de baja intensidad, es muy poco probable que existan retornos de N y si se observan disminuciones del mismo en la siguiente estación de crecimiento (Abril y Gonzalez, 2000; Gonzalez et al., 2001).

Tabla 2. Porcentaje de transferencia de nutrientes a la atmósfera durante fuegos

Tipo de vegetación y referencia	Nutrientes								
	C	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Zn
Bosque	--	92	56	56	86	54	59	64	81
Parque	--	92	41	45	80	33	41	47	76
Parque abierto (sabana) <i>Eucaliptus spp</i> , <i>Melaleuca</i> , <i>Heteropogon</i> , <i>Digitaria</i> . (Cook1994)	--	94	53	82	85	4	34	42	76
Arbustal de <i>Quercus coccifera</i> garrigue (Trabaud 1994)	48	64	39	29	--	62	36	--	--

5.1. Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un factor limitante para la productividad primaria neta en todos los ecosistemas terrestres y hay 30 a 40 veces más N en la materia orgánica del suelo que en las plantas de la tierra (Joffre y Ågren, 2001). Una gran cantidad de N de la vegetación y de la necromasa se volatiliza durante los fuegos de pastizales y/o de arbustales (Redman, 1991); generalmente como N_2 ; ello se suma al aumento de la temperatura del suelo posfuego que acelera la nitrificación microbiana (Ojima et al., 1994).

Generalmente, el contenido de nitratos ($N-NO_3^-$) en el suelo disminuye por volatilización inmediatamente después del fuego (Caldwell et al., 2002) y aumenta a los pocos días posfuego por la rápida mineralización de la MO y por la aceleración abiológica del ciclo de nutrientes.

El gran crecimiento del forraje posfuego está limitado por el retorno de N en forma orgánica y por las condiciones climáticas y topográficas que provocan pérdidas del N soluble del suelo. Por eso, en sitios con pendientes y con lluvias torrenciales en verano se supone que el efecto será cada vez menos eficiente (Hernández et al., 1997).

En las cenizas se preserva una cantidad apreciable de N y cada forma del N reacciona de manera diferente en función de la temperatura y del tipo de material combustible. A 300°C, en cenizas de mantillo, hay altas concentraciones de N-aminoácidos y N-amónico orgánico, las que se ven afectadas cuando aumenta la temperatura del fuego. La forma N-hexosamina disminuye en las cenizas de las herbáceas cuando aumenta a 400°C la temperatura y el N-amónico orgánico parece ser la forma de N orgánico más importante por su aporte al suelo (Sanchez y Lazzari, 1998).

A mayor temperatura, mayor grado de descomposición de la MO, que genera un aumento de las formas no hidrolizables del N, originando compuestos de menor posibilidad de mineralización microbiana, sobre todo en combustibles con mayor grado de lignificación, como los mantillos (Walker et al., 1986).

5.2. Fósforo

La cantidad de fósforo (P) disponible, en forma de iones ortofosfatos, es crítica para el crecimiento de las plantas. La mayoría de los suelos contienen adecuadas cantidades de P total pero este puede estar en una forma no disponible para las plantas. El fuego libera P desde los residuos de plantas y animales, pero la disponibilidad del nutriente es sensible al pH. Sin embargo el P disponible puede ser rápidamente removido por el gran crecimiento de las plantas después del fuego.

Así como el nitrógeno, los niveles de P en los suelos pueden aumentar, permanecer inalterables o disminuir después de las quemadas de pastizales. El resultado de la influencia de la quema en los contenidos de P de los suelos puede estar relacionado al tiempo del fuego y a otros factores tales como el pastoreo (Scifres y O'Connor, 1987)

6. Efectos del fuego en la biota del suelo

La biota del suelo comprende un sinnúmero de especies de diferente tamaño, forma y función, asociadas a los ciclos de los nutrientes. En base a su tamaño definimos la mesobiota y la microbiota, susceptibles a los efectos del fuego (Roper y Gupta, 1995). En general, un aumento de la temperatura del suelo estimula las poblaciones microbianas para convertir nutrientes del suelo a formas disponibles.

6.1. Efectos en la mesobiota

Incluye a organismos de distinta estructura y función, con intervención en las primeras se-

cuencias de la descomposición de la materia orgánica. Los efectos del fuego sobre la mesobiota dependen de una serie de factores como la frecuencia, la intensidad y la duración del fuego, así como de los hábitos de cada especie. Pueden ser directos, por acción del calor, e indirectos por alteración de sus nichos ecológicos.

Algunos autores señalan que estos organismos se reducen inmediatamente después del fuego, y otros encuentran que ciertos grupos aumentan (Guazzelli et al., 1999). Todos coinciden en que, con el tiempo, la mayoría de los organismos de la mesofauna vuelven a sus niveles anteriores, a partir de un proceso de repoblación del área afectada o bien porque no han sido afectados por el incendio (Pinheiro et al., 2001).

6.2. Efectos en la microbiota

Los cambios inducidos por el fuego en el número y en la actividad de microorganismos del suelo dependen de la severidad del fuego, los tipos de organismos involucrados, las condiciones medioambientales del post-fuego, la frecuencia del fuego, el número total (efecto acumulativo) de los fuegos y la longitud del tiempo desde el fuego (Hossain et al., 1995).

El efecto está influenciado por el ecosistema: en general, en ambientes con baja diversidad de especies vegetales, existe escasa diversidad biótica del suelo, lo que no estimula la regeneración biológica de la estructura del mismo. Por el contrario, el fuego puede reducir los efectos de sustancias tóxicas, freno de la actividad microbiana, como sucede en bosques de eucaliptos (Imeson, 1995). También, la calidad nitrogenada orgánica e inorgánica de las cenizas puede modificar el sustrato microbiano del suelo después del fuego (Fenn et al., 1993).

6.2.1. Efectos en la estructura de las comunidades microbianas

Los organismos más pequeños mueren a temperaturas entre 50°C y 120°C y, dentro de los tipos microbianos, los hongos parecieran ser más susceptibles al calor que las bacterias (Baath et al., 1995; Neary et al., 1999). La mortalidad microbiana es mayor en condiciones de humedad que en suelos secos, porque existe una mayor efectividad de la penetración del calor latente y más rápida diseminación del mismo (Hartford y Frandsen, 1992; Campbell et al., 1994). En contraste, las tasas más altas de sobrevivencia en suelos secos pueden deberse, en parte, a la formación de esporas y a la adaptación microbiana al estrés.

La habilidad de lograr metabolismo inerte, por entrar en dormición o producir esporas, puede dar a los microorganismos una mejor

chance para sobrevivir al estrés de la exposición al calor y convertirse en los colonizadores del suelo después del fuego (Dunn *et al.*, 1985).

La microbiota muerta es fuente de mineralización de las formas orgánicas más lábiles, aportando nutrientes en disponibilidad para el ciclo de crecimiento vegetal. En el corto plazo, la microbiota muerta es restituida al poco tiempo de la quema (Acea y Carballas, 1996; Abril y Gonzalez, 2000), a expensas de las fracciones de más rápida mineralización. Ello genera modificaciones de las tasas y de las formas de más rápida mineralización, generando diferente calidad de MO y tasas de retorno (Choromanska y De Luca, 2001). En general, las tasas de mineralización y las formas lábiles o de rápida mineralización aumentan en el corto plazo y luego disminuyen (Fernández *et al.*, 1999).

La frecuencia de fuego es de gran importancia ya que quemas frecuentes reducen la biomasa microbiana por acortar los períodos de mineralización - inmovilización necesarios para el crecimiento de las poblaciones microbianas (Hossain *et al.*, 1995). En particular, las micorrizas ectotróficas pueden ser favorecidas en la dispersión de sus esporas por microfagocitosis de la mesofauna (Johnson, 1995).

Los microorganismos fijadores de nitrógeno en el suelo también pueden verse favorecidos luego de las quemaduras, sobre todo aquellos que constituyen costras criptogámicas (Loftin y White, 1994; Evans y Johansen, 1999), como las observadas en la Región Chaqueña (Albanesi, 2002, comun. personal).

6.2.2. Efectos en la actividad biológica

La actividad microbiana disminuye, por lo general, en suelos afectados por el fuego. El calentamiento del suelo a 200°C por una hora reduce la actividad microbiana en un 90-98 %. Los microorganismos que sobreviven a altas temperaturas poseen una alta proporción de lípidos saturados en la membrana y también sintetizan enzimas resistentes a las altas temperaturas (Ciardi, 1998). Sin embargo, la recuperación microbiana en el suelo con fuegos prescritos es más rápida que con fuegos sin control (Hossain *et al.*, 1995; Prieto-Fernández *et al.*, 1998; Choromanska y De Luca, 2001).

En los humus de tipo piromórficos la actividad biológica se encuentra dificultada, al menos inicialmente, por la destrucción selectiva de los compuestos fácilmente metabolizables por los microorganismos (Choromanska y De Luca, 2002). La lentitud en la recuperación de la actividad microbiana luego del fuego está relacionada a la disponibilidad de carbono lábil y genera una oportunidad para el crecimiento vegetal que toma ventajas de la gran cantidad de

nitratos disponibles luego del fuego. A su vez, el crecimiento vegetal, sobretodo de gramíneas, comienza la recuperación del nitrógeno de rápida mineralización.

La respiración de la microflora heterotrófica en fuegos con prescripciones no es afectada debido, probablemente, a la existencia de grupos tolerantes al fuego, posiblemente relacionados a la degradación de ácidos húmicos (Abril y Gonzalez, 2000).

6.2.3. Efectos en la cantidad y actividad enzimática

Se asume que el fuego puede consumir MO del suelo y cambiar la apariencia de ella sin tener efectos mayores en la actividad enzimática de los suelos (Boerner *et al.*, 2000). Las enzimas como las proteínas pueden ser inactivadas térmicamente total o parcialmente por efectos del fuego (Hernandez *et al.*, 1997). La diferenciación entre la contribución de los componentes intra y extracelulares es importante porque la actividad de enzimas estabilizadas extracelularmente pueden resistir la degradación térmica y la proteólisis por asociación con los coloides del suelo.

La actividad enzimática extracelular no está ligada a la actividad microbiana y por lo tanto no está sujeta a represión o inducción o probablemente el no ser sensibles a condiciones ambientales afecta el estado fisiológico de los microorganismos. Otro problema en la interpretación de la actividad enzimática es separarla de lo abiótico: arcillas, óxidos, hidróxidos, oxihidróxidos, materia orgánica y materia organo-mineral son capaces de catalizar reacciones libres de enzimas en el suelo.

Es conocido que el calentamiento por fuego causa esterilización parcial o total y que pueden observarse efectos adversos en los microorganismos del suelo algún tiempo después del fuego. Aunque las enzimas complejadas con el humus son resistentes a la desnaturalización térmica (Nannipieri *et al.*, 1982).

Las enzimas intracelulares deshidrogenasas y la ureasa decrecen, junto con el ATP (adenosin trifosfato) a partir de los 60°C en suelos húmedos, pero resisten temperaturas de hasta 200°C en suelos secos. La actividad b-glucosidasa es sensible a desnaturalización térmica y se cree que gran parte de esa actividad está asociada con enzimas estabilizadas por coloides orgánicos. Los microorganismos de suelos frescos no están acostumbrados a sintetizar y liberar polisacáridos extracelulares que cambian las propiedades físicas del ambiente permitiendo la sobrevivencia de los microorganismos orígenes de esas condiciones severas.

7. Consideraciones finales

Cuando el fuego afecta directamente al suelo se deterioran la estructura y las propiedades hidrofísicas, y se afecta el estatus de nutrientes de tal manera que el desarrollo de la vegetación post fuego, se ve perjudicado y se puede favorecer a la degradación y/o erosión.

Si el fuego afecta exclusivamente a la vegetación, el aporte de cenizas o materiales que no

han sido completamente carbonizados, mejoran las propiedades antes mencionadas, generando el efecto inverso de la vegetación posfuego.

Se demuestra el rol del fuego prescrito para mitigar los efectos de la alta intensidad del mismo en los procesos del suelo, así como la importancia de las quemadas con frecuencias determinadas en función del ecosistema. El manejo posterior de los sitios quemados es tan o más relevante que las quemadas para mantener la sustentabilidad de los ecosistemas.

8. Bibliografía

Abril A. y C. Gonzalez 2000. Dinámica de la fertilidad y de las poblaciones microbianas en suelos afectados por incendios en las Sierras de Córdoba. *Agriscientia*. 16: 63-68.

Acea M. y T. Carballas 1996. Changes in physiological groups of microorganisms in soil following wildfire. *FEMS Microbiology Ecology* 20:33-39.

Ajwa H., C. Dell y C. Rice 1999. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biol. Biochem* 31: 769-777.

Almendros G., A. Polo, M. Lobo y J. Ibañez 1984. Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la MOS. II Transformaciones del humus por ignición en condiciones controladas de laboratorio. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 21 (2): 145-160

Baath E., A. Frostegard, T. Pennanen y H. Fritze 1995. Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 27 (2): 229-240.

Boerner R., K. Decker y E. Sutherland 2000. Prescribed burning effects on soil enzyme activity in a southern Ohio hardwood forest: a landscape-scale analysis. *Soil Biol. Biochem.* 32(7): 899-908.

Boone Kauffman J., D. Cummings y D. Ward 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. *Ecology*. 82: 519-531.

Boone Kauffman J., D. Cummings, D. Ward y R. Babbitt. 1995. Fire in the Brazilian Amazon: 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia*. 104: 397-408.

Caldwell T., D. Johnson, W Miller y R. Qualls 2002. Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 262-267

Campbell G., J. Jungbauer Jr, W Bidlake y R. Hungerford 1994. Predicting the effect of temperature on soil thermal conductivity. *Soil Science*. 158: 307-313.

Choromanska U. y T. De Luca 2001. Prescribed fire alters the impact of wildfire on soil biochemical properties in a ponderosa pine forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 232-238

Choromanska U. y T. De Luca 2002. Microbial activity and nitrogen mineralization in forest mineral soils following heating: evaluation of post-fire effects. *Soil Biol. Biochem.* 34, 263-271

Christensen B. 1987. Decomposability of organic matter in particle size fractions from field soils with straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19: 429-435.

Giardi C. 1998. Soil heating to distinguish the contribution of abiotic and extracellular activities to the overall enzyme activity in soil. *Agrochimica*. XLII: 3-4.

Conteh A., G. Blair e I Rochester 1998. Soil organic carbon fractions in a Vertisol under irrigated cotton production as affected by burning and incorporating cotton stubble. *Aust. J. Soil Res.*, 36: 655-67

Cook G. 1994. The fate of nutrients during fires in a tropical savanna. *Aust. J. Ecology*. 19: 359-365.

Daubenmire R. 1968. Ecology of fire in grasslands. En: J.B. Cragg (ed.). *Advances in ecological research*. Academic Press, New York, London. 209-267.

De Bano F. 1991. The effects of fire on soil properties. En: Harvey A., L. Neuenschwander (eds). *Proceedings - Management and productivity of western-Montane Forest Soils*. U.S.D.A. Forest Service GTR INT-280. 151-156.

Dunn P., S. Barro y M. Poth 1985. Soil moisture affects survival of microorganisms in heated chaparral soil. *Soil Biol. Biochem.* 17:143-148.

Evans R. y J. Johansen 1999. Microbiotic Crusts and Ecosystem Processes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(2): 183-225

Fenn M., M. Poth, P. Dunn y S. Barro 1993. Microbial nitrogen and biomass respiration and nitrogen mineralization in soils beneath two chaparral species along a fire-induced age gradient. *Soil Biol. Biochem.* 25: 457-466.

Fernández I., A. Cabaneiro y T. Carballas 1999. Carbon mineralization dynamics in soils after wildfires in two Galician forests. *Soil Biol. Biochem.* 31(13): 1853-1966.

Franco-Vizcaíno E. y J. Sosa-Ramírez 1997. Soil properties and nutrient relations in burned and unburned Mediterranean-climate shrublands of Baja California, Mexico. *Acta Geológica*. 18(4): 503-517.

García-Oliva F., R. Sanford y E. Kelly 1999. Effects of slash and burn management on soil aggregate organic C. and N. in a tropical deciduous forest. *Geoderma*. 88: 1-12

González C., G. Studdert; C. Kunst y A. Albanesi 2001. Comportamiento de algunas propiedades del suelo en una sabana del Chaco Semiárido Occidental bajo distintas frecuencias de fuego. *Ciencia del Suelo*. 19(2): 92-100.

Guazzelli M., M. Osterrietti y P. Martínez 1999. Efecto de incendios sobre la mesofauna y propiedades físico-químicas en Hapludoles líticos de Sierras de Tandilia, Buenos Aires, Argentina. Resúmenes del 14º Congreso Latinoam. de la Ciencia del suelo, Pucon, Chile. P. 146.

Harris R y D Bezdicek 1994. Descriptive aspects of soil quality/health. En: *Defining soil quality for a sustainable environment*. Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A. (eds). SSSA Special Publication Number 5. Madison, Wisconsin, USA. 23-35.

Hartford R. y W. Frandsen 1992. When it's Hot, it's Hot... or may be it's not! (surface flaming may not portend extensive soil heating). *International Journal of Wildland Fire*. 2: 139-144.

Hernández T., C. Garcia e I. Reinhardt 1997. Short-term effects of wild-fire on the chemical, biochemical, and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biol. and Fertility of Soils*. 25: 109-116.

Hobbs N., D. Schimel, C. Owensby y D. Ojima 1991. Fire and grazing in the tallgrass prairie: contingent effects on nitrogen budgets. *Ecology*. 72 (4): 1374-1382.

Hossain A., R. Raison y P. Khanna 1995. Effects of fertilizer application and fire regime on soil microbial biomass carbon and nitrogen, and nitrogen mineralization in an Australian sbalpine eucalypt forest. *Biol. and Fertil. of Soils*, 19: 246-252.

Hungerford R., M. Harrington, W. Frandsen, K. Ryan y G. Niehoff 1991. Influence of fire on factors that effect site productivity. P. 32-50. En: A. Harvey, L. Neuenschwander (eds). *Proceedings-Management and Productivity of Western-Montane Forest Soils*. U.S.D.A. Forest Service GTR INT-280.

Ibáñez J., M. Lobo, G. Almendros y A. Polo 1983. Impacto del fuego sobre algunos ecosistemas edáficos de clima mediterráneo continental en la zona centro de España, *Bo. Estac. Ctal de Ecología*. 12 (24).

Imeson A. 1995. Physical, chemical and biological degradation of the soil. En: *Desertification in a european context*. European Comission. Science Research Development. Report EUR 15415 E14. 153-168.

Joffre R. y G. Ágren 2001. From Plant and Soil: litter production and decomposition. *Terrestrial Global Productivity*. Chapter 5. 83-99.

Johnson C. 1995. Interactions between fire, mycophagous mammals, and dispersal of ectromycorrhizal fungi in Eucalyptus forests. *Oecologia* 104: 467-475.

Kunst C. 1996. Efectos del Fuego sobre el suelo. En: *Fuego Prescripto. Introducción a la ecología y manejo del fuego*. Kunst y Moscovich (ed). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Universidad Nacional de Santiago del Estero. 3: 17-28.

- Kutiel P. y M. Inbar 1993. Fire impacts on soil nutrients and soil erosion in a Mediterranean pine forest plantation. *Catena*. 20: 129-139.
- Loftin S. y C. White 1994. Potential nitrogen contribution of soil cryptogams to post-disturbance forest ecosystems in Bandelier National Monument, NM. En: *Fire effects in Southwestern forests. Proceedings of the second La Mesa fire symposium*. 140-148.
- Molina M. y J. Llinares 1998. Effects of fire intensity on the soil properties related to structure: organic matter, aggregate stability and water retention capacity. En: L. Trabaud y R. Prodon (eds). *Fire. Landscape and Dynamics on the Mediterranean Area*. *Int. J. Wildland Fire*.
- Montenegro O. 2002. Calidad del Suelo, Efecto del rolado y fuego en un ecosistema degradado (fachinal) de la Región Chaqueña. Trabajo final de Intensificación de grado. FAyA-UNSE. 42 p.
- Mueller-Dombois D. y J. Goldammer 1990. Fire in tropical ecosystems and global environmental change: an introduction. 1990. En: *Fire in the tropical biota. Ecosystem processes and global challenges*. J.G. Goldammer (ed.). 1: 1-10.
- Nannipieri P., B. Ceccanti, C. Conti y D. Bianchi 1982. Hydrolases extracted from soil: their properties and activities. *Soil Biol. Biochem.* 14: 257-263.
- Neary D., C. Klopatek, L. DeBano y P. Folliott 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*. 122:51-71.
- Ojima D., D. Schimel, W. Parton y C. Owensby 1994. Long and short-term effects of fire on nitrogen cycling in tall grass prairie. *Biogeochemistry*. 24: 67-84.
- Orioli G. y N. Curvetto 1978. The effect of fire on soil humic substances. *Plant and Soil*. 50:91-98.
- Phillips D., J. Foss, E. Buckner, R. Evans y E. Fitz-Patrick 2000. Response of Surface Horizons in an Oak Forest to Prescribed Burning. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(2): 754-761
- Pinheiro F., D. Coelho e I. Diniz 2001. Influencia de quemadas sobre a abundancia e distribuição temporal de insectos no cerrado sensu stricto, Brasília, DF, Brasil. Resúmenes del V Cong. Latinoam. de Ecología, S. S. de Jujuy. Publicado en CD.
- Prieto-Fernández A., M. Acea y T. Carballas 1998. Soil microbial and extractable C and N after wildfire. *Biol Fertil Soil*. 27: 132-142.
- Quaglia G., L. Picone, F. García y P. Littera 1999. Efecto de la quema de pajonales de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) de la Pampa deprimida, sobre algunas propiedades químicas y biológicas. Resúmenes del 14º Congreso Latinoam. de la Ciencia del suelo, Pucon, Chile. P. 133.
- Quirine M., M. Ketterings y J. Bigham 2000. Soil color as an indicator of slash and burn fire severity and soil fertility in Sumatra, Indonesia. *SSSAJ*. 64(5):1826-1834.
- Ragan M., C. Callaway y F. Davis 1993. Vegetation dynamics, fire, and the physical environment in coastal central California. *Ecology*. 74(5): 1567-1578
- Redmann R. 1991. Nitrogen Losses to the Atmosphere from Grassland Fires in Saskatchewan, Canada. *Int. J. Wildland Fire* 1(4): 239-244.
- Rodríguez N. 1997. El fuego y sitio forestal. Cap. 3, p 20-27. En: C. Kunst y N. Rodríguez: *Fuego prescripto en plantaciones de pino*. Proyecto Forestal de Desarrollo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Buenos Aires.
- Roper M. y V. Gupta 1995. Management Practices and Soil Biota. *Aust. J. Soil Res.* 33: 321-39
- Sánchez J. y M. Lazzari 1998. Carbono y fracciones de nitrógeno en cenizas de estratos de vegetación de la región del Caldénal (Argentina). *Ciencia del Suelo* 16: 43-46
- Scifres C. 1987. Fire effects on soils. En: *Prescribed burning for brushland management. The South Texas example*. Chapter 5. 53-65.
- Trabaud L. 1994. The effect of fire on nutrient losses and cycling in a *Quercus coccifera* garrigue (southern France). *Oecologia*. 99: 379-386
- Ulery A., R. Graham y C. Amrhen 1993. Wood ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Sci.* 156:358-364.
- Walker J; R. Raison y P. Khanna 1986. Fire. En: Russell, Isbell (eds). *Australian Soils. The human impact*. University of Queensland Press. St. Lucia. 185-216.
- Wright H. y H. Bailey 1982. *Fire ecology in the United States and southern Canada*. J. Wiley & Sons, N.Y.

El fuego y las plantas

Sandra Bravo¹, Ana María Giménez¹, Carlos Kunst² y Graciela Moglia¹



Rodaja de fuste de *Aspidosperma quebracho blanco*. Pasto rebrotado luego de un fuego, 1994 Foto: C. Kunst

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. e-mail: sjbravo@unse.edu.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero
e-mail: ckunst@correo.inta.gov.ar

1. Introducción

En distintos ecosistemas naturales y en áreas naturales protegidas del mundo el fuego es un factor ecológico recurrente de gran importancia en el modelado del paisaje (Bucher, 1982, 1987, Lorimer, 1991). Los cambios producidos por el fuego en el seno de las comunidades vegetales están fundamentalmente relacionados a la resistencia de las distintas especies que la componen y los mecanismos que pudieran haber desarrollado para sobrevivir a su paso.

El objetivo de este capítulo es analizar algunos antecedentes relacionados al efecto del fuego en las plantas como así también comunicar la información generada, con relación a esta temática, en especies de leñosas nativas de la región Chaqueña Occidental.

2. El fuego en las comunidades vegetales

Se considera que una comunidad es resistente al fuego cuando no ocurren cambios importantes en su estructura y se produce un rápido retorno de las especies presentes antes del fuego, ya sea a partir de la reposición de partes dañadas, a partir de rebrotes o por el establecimiento de renovales. Existen comunidades vegetales dependientes del fuego como producto de una adaptación estrecha de las especies para sobrevivir a su paso. Esta dependencia resulta evidente cuando las especies concentran toda su energía reproductiva (que incluye a los períodos de floración, fructificación) y el establecimiento de renovales, después de la ocurrencia de incendios (Keeley, 1991).

Las especies capaces de persistir en ambientes propensos a sufrir la acción del fuego lo hacen básicamente siguiendo dos estrategias: la evasión y la resistencia. La evasión involucra un escape de la planta a las condiciones reinantes durante un incendio mediante el aislamiento de tejidos en el interior del suelo, rápido crecimiento y ciclos de vida más cortos que los intervalos entre fuegos. La perpetuación de las especies que emplean esta estrategia ocurre a partir del establecimiento de renovales después del paso del fuego a partir del banco de semillas del suelo (Gill, 1981; Strahler, 1984; Kauffmann, 1990). Las semillas de plantas leñosas son generalmente más resistentes al fuego que las semillas de plantas herbáceas y en algunas especies las altas temperaturas pueden potenciar la germinación (Steuter y Mc Pherson, 1995).

La resistencia está asociada a la modificación de caracteres de tejidos y órganos para sobrevi-

vir al paso del fuego y reponer las partes consumidas y/o dañadas. Relacionada a esta estrategia se encuentra la protección de los meristemas localizados en el interior de las yemas y de los meristemas laterales, responsables del crecimiento en grosor de las leñosas. La protección la realizan tejidos vegetales con características aislantes como los de las escamas gruesas y tomentosas que cubren a las yemas o cortezas gruesas, corchosas y fisuradas que rodean al leño. Un banco importante de yemas, tanto en la parte aérea como a nivel del cuello de la planta, asegura además la producción de rebrotes después del fuego (Ryan, 1990; Steuter y Mc Pherson, 1995).

De este modo, el conjunto de características morfo-fisiológicas que les permite a determinadas especies resistir incendios representan un síndrome adaptativo que está ajustado al régimen de fuego que caracteriza al ambiente donde ellas habitan. Este síndrome adaptativo puede resultar exitoso en su ambiente pero ineficiente bajo otro régimen de fuego. Sin embargo, a pesar de que algunas especies tienen una notable capacidad para sobrevivir al fuego necesitan un período mínimo libre de incendios para restablecerse en el medio y perpetuar la especie (Kauffman, 1990).

Las especies incapaces de sobrevivir al paso del fuego dependen exclusivamente del banco de semillas del suelo para su restablecimiento. Estas semillas poseen una latencia fácilmente interrumpida por estímulos térmicos como un shock de calor o productos químicos lixiviados de leños carbonizados. Por ello es frecuente en especies sensibles que la germinación y el establecimiento de nuevas plántulas se concentren en la primera estación de lluvias después del fuego (Keeley, 1991).

3. Diferentes formas de vida y resistencia al fuego

3.1. Las especies herbáceas

El fuego ejerce un efecto diferente en distintas formas de vida debido a la localización y grado de protección de los ápices de crecimiento o meristemas.

Las herbáceas gramíneas del tipo de los pastos responden positivamente a las quemaduras a través de una rápida germinación, crecimiento vegetativo y reproducción. Poseen a la altura del cuello de la planta una zona meristemática capaz de generar raíces y nuevos tallos, si la parte aérea se pierde o resulta dañada ya sea por

cuestiones climáticas o por daños mecánicos entre los que se incluyen el pastoreo y el fuego. Por su localización en la planta estos meristemas se encuentran protegidos por el suelo y por la base de las hojas marcescentes de los nudos inferiores. Colaboran en la capacidad de regeneración de los pastos los meristemas intercalares localizados en la base de cada entrenudo. Todas estas características justifican la dominancia de los pastos en distintas sabanas de zonas semiáridas sujetas a la acción de fuegos recurrentes tanto de origen natural como antrópico (Bucher, 1987). Existen pastos que no sólo están adaptados a sufrir incendios periódicos sino que dependen de él para eliminar la base lignificada de las hojas formadas en la anterior estación de crecimiento y permitir así la producción de nuevas hojas al comenzar la siguiente estación (Trollope, 1984; Danckwerts, 1989).

En las herbáceas no gramíneas el meristema responsable de la formación de toda la parte aérea de la planta se localiza a corta distancia del suelo, en el ápice del tallo y suele ser completamente consumido durante un incendio razón por la cual dependen del banco de semillas del suelo para persistir (Keeley, 1991).

3.2. Las especies leñosas

En las leñosas el meristema apical del tallo, responsable de su crecimiento en longitud, y los meristemas laterales que originan el crecimiento en grosor del fuste y ramas, están expuestos directamente al fuego durante un incendio y razón por la cual resultan frecuentemente afectados. Los daños pueden ser de distintos tipos: pérdida de la copa, lesiones o carbonización total o parcial del fuste y daño a las raíces si la especie posee raíces superficiales. Por ello, la mortalidad asociada al paso del fuego en una comunidad de leñosas se debe generalmente a la combinación de uno o más de los tipos de daños sumados a otros efectos adversos que se manifiestan a largo plazo como el debilitamiento o pérdida de corteza y el ataque de patógenos de distinta índole (Ryan, 1990; Bradley y Noste, 1992; Gill, 1995). Ryan (1990) resumió en un diagrama el efecto del fuego sobre las leñosas (Figura 1).

3.2.2. Daños a nivel de copa

Las pérdidas de follaje por efecto del fuego, conocidos como incendios de copa, no son muy frecuentes pero sí muy destructivos. El daño a

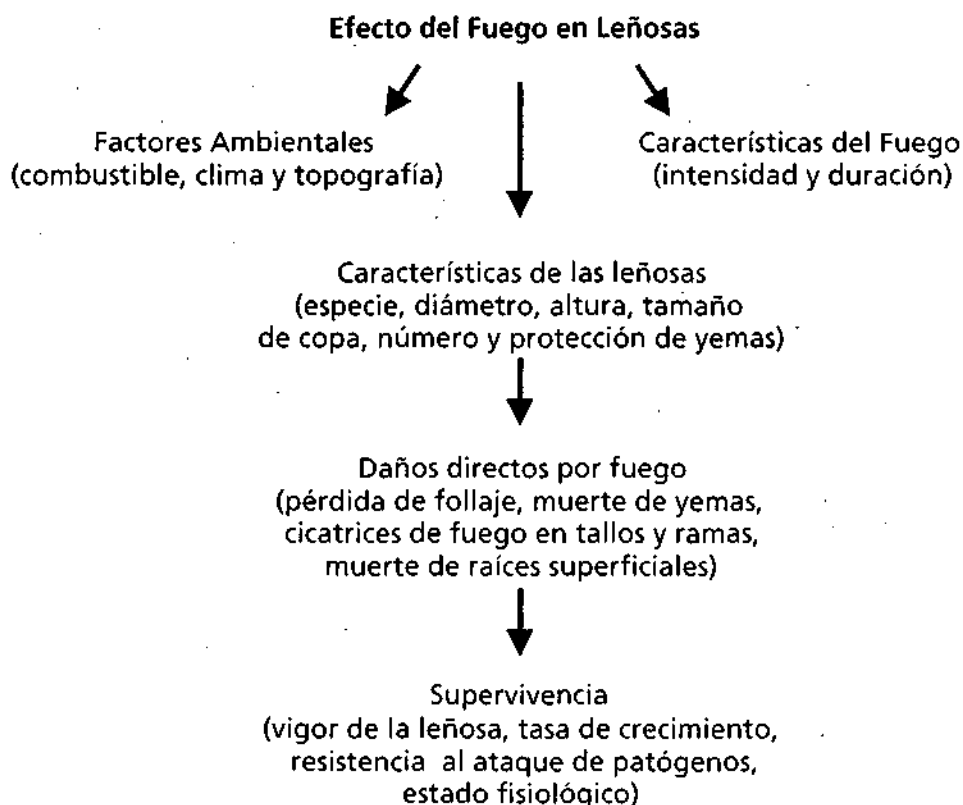


Figura 1. Efectos del fuego en leñosas (tomado de Ryan, 1990)

la copa vincula a dos componentes: la pérdida del follaje y la mortalidad de las yemas. El primero se produce por la exposición directa a las llamas (combustión) o cuando la temperatura del aire sobrepasa, durante el incendio, el umbral de los 60 °C, considerado crítico para la supervivencia de los tejidos vegetales. En este último caso, se considera a la mortalidad del follaje y ramas como un efecto de la onda de calor (Rodríguez y Cwielong, 1993).

La mortalidad de las yemas ocurre a mayores temperaturas debido a la protección que le brindan las hojas y las cubiertas aislantes (escamas) que suelen presentar gran parte de ellas. De esto se desprende que, la mortalidad de las yemas y del cámbium de las ramas, indican por sí mismas los rangos de temperaturas alcanzados durante la acción del fuego (Robbins y Myers, 1998). La forma y la altura de la base de la copa determinan que proporción resultará dañada o muerta después de un incendio y se usan en distintos modelos como predictores de supervivencia (Agee, 1993).

Los incendios de corona o copa suelen ser más frecuentes en bosques de coníferas que en los de latifoliadas debido a la presencia de contenidos inflamables en las acículas. Otros factores que predisponen a este tipo de incendios son la presencia de contenidos inflamables en las cortezas de los árboles y la existencia de un sotobosque estratificado que brinde el sustrato propicio para el ascenso de las llamas hasta la copa (Lorimer, 1991).

3.2.3. Daños a nivel de fuste

El fuego produce lesiones en el fuste cuyas características y magnitud dependen de la intensidad que éste haya alcanzado y del tiempo de exposición. El patrón de daño y de respuesta varía entre las especies y entre ejemplares de una misma especie (Sutherland y Smith, 2000). Según Kitzberger *et al.*, (2000) los daños a nivel del fuste se detectan con mayor frecuencia en incendios de intensidad intermedia a baja ya que en aquellos intensos y catastróficos se consumen casi toda la parte aérea de las leñosas. No obstante pueden encontrarse algunos sobrevivientes de estos incendios en sitios donde la carga de combustible es escasa lo que genera fuegos de menor intensidad.

El fuego produce heridas en el fuste que dejan cicatrices y marcas de fuego. El proceso de formación de cicatrices y sus características han sido ampliamente descritas en especies de coníferas y latifoliadas (Wright y Bailey, 1982, Agee, 1993; Larson, 1994; Kitzberger *et al.*, 2000, Smith y Sutherland, 2001. Bravo *et al.*, 2000, 2001). Corresponden con un patrón básico de interrupción del crecimiento del fuste causada por la carbonización y la muerte del tejido

cambial junto al tejido floemático subyacente. Los sectores no dañados del tallo originan un crecimiento compensatorio del leño, destinado a cerrar la herida, lo que se produce en un número variable de años (Agee, 1993; Kitzberger *et al.*, 2000) (Figura 2). Las marcas de fuego se diferencian de las cicatrices de fuego porque no se produce en ellas interrupción en el crecimiento, aunque sí alteraciones en la estructura del leño formado con posterioridad a la lesión (Bravo *et al.*, 2000, 2001).

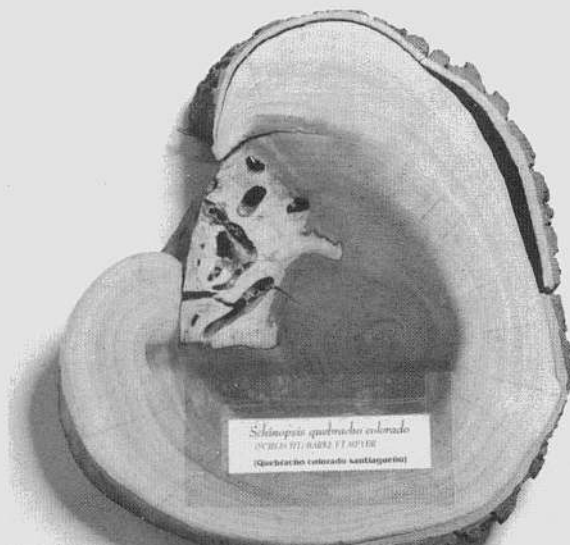


Figura 2. Cicatriz de fuego en *Schinopsis quebracho colorado*.

El tamaño de las cicatrices guarda relación, como se ha mencionado anteriormente, con la intensidad del fuego. Según Sutherland y Smith (2000), en fuegos de baja intensidad, las lesiones se originan por calentamiento sin que ocurra combustión. El porcentaje del perímetro del fuste dañado por fuego es altamente variable, aún entre individuos de una misma especie (Smith y Sutherland, 2001). La comparación de datos en este aspecto resulta dificultosa porque se emplean generalmente distintas medidas para expresar la magnitud del daño. Además, la percepción del daño variará de acuerdo a los objetivos del que realiza la evaluación.

En especies de leñosas nativas del Chaco Occidental, las cicatrices de fuego comprometen un porcentaje variable del perímetro del fuste y ramas principales, aunque en su gran mayoría no superan un cuarto de su circunferencia (Giménez, 1994, Bravo *et al.*, 2001 b). Sin embargo, aún los fuegos de menor magnitud tienen su efecto a corto o largo plazo sobre la supervivencia, vitalidad o el estado fitosanitario de las plantas.

3.2.2.1. El papel de la corteza

En la magnitud del daño que puede producir el fuego influye la protección que ejerce la corteza sobre el tejido cambial. Este aspecto ha sido investigado intensamente por las implicancias que tiene para la supervivencia de las leñosas (Gill, 1981; Wright y Bailey, 1982; Ryan y Steele, 1989; Miller, 2000). El espesor de la corteza varía entre las especies, con la edad, con el diámetro y la altura a la que se encuentra dentro de la planta, con los caracteres del sitio y con el vigor de los ejemplares (Gill, 1995). Se considera al espesor de la corteza como un excelente indicador de resistencia al fuego y se estableció además que, 1 a 1,5 cm, es el espesor mínimo necesario para la supervivencia de tejido cambial. La densidad y la presencia de contenidos (gomas, resinas, terpenos y taninos) en la corteza influyen la transferencia del calor a través de ella y por lo tanto, el porcentaje de daño y/o la mortalidad potencial del fuste o ramas (Gill, 1981; Agee, 1993; Rodríguez y Cwielong, 1993; Gill, 1995).

La tendencia adaptativa de aquellas especies que vegetan en ambientes expuestos a incendios es desarrollar cortezas gruesas que le brindan mayores probabilidades de sobrevivir y esta característica las convierte a lo largo del tiempo en dominantes de las comunidades vegetales a las que pertenecen (Strahler 1984; Lorimer 1991). Esto se torna evidente en las especies de árboles que habitan los ambientes de sabana de América y África, donde el fuego es un fenómeno frecuente (Sarmiento *et al.*, 1985; Goldammer y Peñafiel 1990). La tasa de incremento de espesor de corteza con la edad difiere entre las especies y determina a qué edades se alcanza una relativa resistencia al fuego (Henst y Dawson 1994).

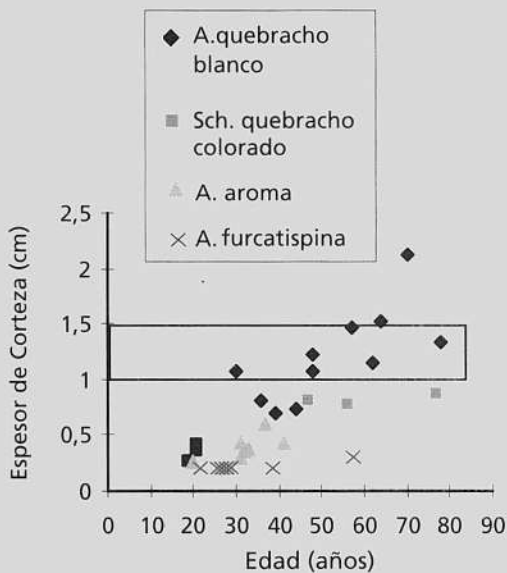


Figura 3. Espesor de corteza en especies de leñosas nativas del Chaco.

Entre algunas especies de leñosas arbustivas y arbóreas del Chaco Occidental se observa claramente la influencia del espesor y demás características de la corteza en la resistencia al fuego. *Aspidosperma quebracho blanco* y *Schinopsis quebracho colorado* desarrollan cortezas en las categorías muy gruesa y media respectivamente mientras que *Acacia aroma* y *Acacia furcatispina* producen cortezas cuyos espesores corresponden a las categorías delgadas y muy delgadas respectivamente (Giménez y Moglia, 1987; Bravo *et al.*, 2001 a). La diferencia en la producción de tejido cortical se manifiesta entre ellas en edades próximas a los 30 años, a partir de la cual el incremento del espesor de la corteza con la edad es notablemente mayor en las especies arbóreas que en las arbustivas (Figura 3).

Las especies arbóreas alcanzan espesores de corteza superiores o cercanos al umbral de resistencia al fuego (1 - 1,5 cm) los que les permite sobrevivir a incendios, de baja a mediana intensidad sin la pérdida de la parte aérea del vegetal (Wright y Bailey, 1982; Ryan, 1990). En las especies arbustivas el espesor resulta insuficiente para aislar efectivamente al cámbium, dentro del margen de edades observado (Bravo *et al.*, 2001 a). Esta mayor susceptibilidad al fuego puede justificarse también por el menor desarrollo longitudinal de los tallos y ramas, que ubica a las yemas apicales y laterales en contacto directo con las llamas del frente de fuego. Los ejemplares arbóreos maduros sitúan su ápice caulinar dominante y sus yemas laterales a distancias que exceden la altura que alcanzan las llamas en incendios de baja a mediana intensidad, lo que les confiere una mayor resistencia.

3.2.3. El daño a nivel radical

El hábito de enraizamiento influye en el daño que puede sufrir el sistema radical durante la acción del fuego. Según Hungerford *et al.* (1991) las raíces localizadas entre 1 - 1,5 cm de profundidad pueden resultar dañadas por la transferencia del calor a través del suelo mientras que aquellas ubicadas a profundidades mayores de 5 cm no resultan generalmente afectadas. La humedad del suelo ejerce también influencia en supervivencia de los tejidos subterráneos durante un incendio. En suelos húmedos el calor transferido a las raíces es un 20 % menor que en suelos secos, frente a incendios de similares características (Kauffman, 1990).

Las raíces gemíferas u órganos subterráneos del tipo de lignotubérculos originan rebrotes después del fuego y son un factor esencial en la persistencia de especies arbustivas y algunas arbóreas que habitan en ambientes propensos al fuego (Ginocchio *et al.*, 1994).

4. Fenología, desarrollo y resistencia al fuego

La capacidad de sobreponerse a los daños o de restablecer la parte aérea de la planta mediante rebrotes depende del nivel de reservas existente en el momento del fuego y de las condiciones postquemado (Miller, 2000; Kunst *et al.*, 2000).

Las etapas fenológicas en las que el fuego tiene efectos negativos son especialmente las de prefoliación y foliación. En la primera, la pérdida de yemas en el comienzo de la etapa de crecimiento activo compromete seriamente la foliación futura, la formación de nuevas ramas, lo que limita a su vez el nivel de reservas disponibles para reiniciar la siguiente estación de crecimiento. La reiniciación del crecimiento de las yemas foliares y laterales se produce casi simultáneamente con el comienzo de la producción de una nueva banda de crecimiento del leño, lo que se acompaña del desprendimiento parcial de sectores de corteza. Esto aumenta la susceptibilidad del cámbium de fuste y ramas a sufrir daños por fuego durante las etapas fenológicas mencionadas debido a la disminución de la protección mecánica de la corteza (Ryan, 1990).

Desde el punto de vista fenológico el estadio de renoval representa el de máxima susceptibilidad al fuego. Sin embargo la capacidad de supervivencia durante este período varía entre las especies, aún entre aquellas que habitan dentro de una misma comunidad. Ejemplo de esto son algunos robledales americanos en los que los renovals de *Quercus elipsoides* y *Q. alba* no resultan afectados por incendios mientras que los de otras especies acompañantes tales como *Prunus serotina* y *Alnus rubrum* manifiestan pérdidas entre un 35 – 75 % o incrementos poblacionales como se observa en *Populus tremuloides* (Reich *et al.*, 1990).

En estudios dendrológicos sobre cicatrices y marcas de fuego en *A. quebracho blanco*, *S. quebracho colorado*, *A. aroma* y *A. furcatispina* no se han detectado lesiones en edades anteriores a los seis años lo que podría indicar un límite de tolerancia al fuego (Bravo no publicado a). Esto concuerda, con lo observado en bosques americanos de *Pinus ponderosa*, especie que requiere un intervalo mínimo de retorno de fuego de seis años para asegurar la supervivencia de sus renovals, aún en incendios de baja intensidad (Ryan y Steel, 1989).

La mayor resistencia se adquiere en la etapa adulta debido a que las cortezas alcanzan un mayor desarrollo y las yemas apicales y laterales se encuentran a alturas que exceden a la de

las llamas producidas durante un incendio. Sin embargo, esto se ve influenciado por el hábito de la planta, la densidad de ramas, los caracteres del follaje, la densidad de yemas en la parte aérea y subterránea entre otros (Miller, 2000).

5. Especies de leñosas nativas de Argentina como ejemplo

Aspidosperma quebracho blanco representa una especie leñosa que reúne un gran número de caracteres que le permiten sobrevivir al fuego, algunos de los cuales han sido estudiados. Se trata de una especie de corteza muy gruesa a la madurez (puede alcanzar un espesor de 2 cm), con un gran porcentaje de tejido suberoso y fisuras que le otorga una gran capacidad aislante (Giménez y Moglia, 1987). Compartimentaliza marcadamente las lesiones que el fuego produce en su leño y la densidad elevada de su madera retrasa el ataque de patógenos (Figura 4) (Bravo, inédito b). Posee un follaje coriáceo, persistente, con una relación superficie/volumen pequeña y abundante tejido fibroso lo que aparentemente retarda su ignición. Las hojas son simples, de filotaxis verticilada lo que aumenta el porcentaje de yemas axilares en un volumen dado de copa, con respecto a otra especie con filotaxis alterna y hojas compuestas.

La naturaleza persistente del follaje de *A. quebracho blanco* le asegura, posiblemente, una producción casi continua de sustancias de reserva y por lo tanto una mayor capacidad de rebro-

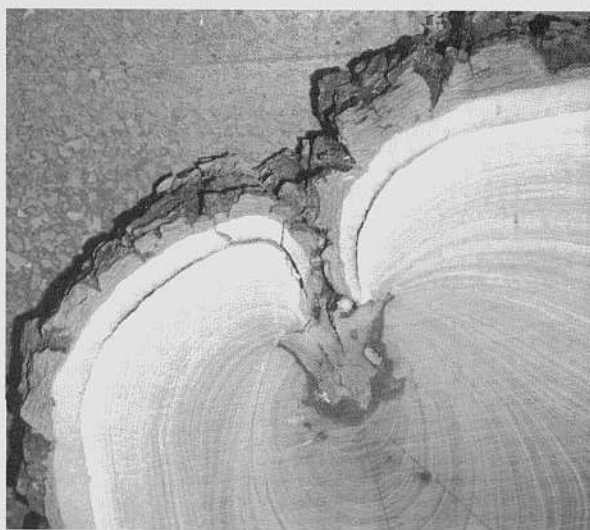


Figura 4. Rodaja de fuste de *Aspidosperma quebracho blanco*. Espesor de corteza 2.2 cm, ejemplar de 74 años de edad.

te ante la pérdida de una parte del follaje por ignición o chamuscamiento. Este último aspecto representa una línea de investigación interesante sobre la cual es necesario trabajar. Es posible que todas estas características le permitan a esta especie sobrevivir fuera de los bosques, en pastizales donde el fuego es un elemento recurrente, de una frecuencia mayor que la puede presentarse dentro del bosque. Esta aptitud la ha convertido en una fuente importante de información para estudios dendrológicos referidos a aspectos ecológicos del fuego por lo que ha sido empleada entre otras especies para el fechado de incendios en sabanas del Chaco occidental. Otra especie del género, *A. tomentosum*, que se desarrolla en ambientes pirofílicos de Sudamérica como es el Cerrado, es reconocida también por su resistencia al fuego lo que consigue a través de una notable protección de las yemas mediante catáfilas (Coutinho, 1990).

S. quebracho colorado constituye junto a *A. quebracho-blanco* el dosel de los bosques chaqueños, sin embargo su presencia no es frecuente en los pastizales de la región por dos posibles causas. La primera de ellas es la presencia del ganado en estos ambientes, que consume ávidamente sus renovales por la palatabilidad de sus hojas. La segunda, el contenido de taninos en corteza y leño lo que contribuye a su inflamabilidad y aumenta la temperatura alcanzada durante los frecuentes incendios que ocurren en estos pastizales. Sin embargo, posee la capacidad de sobrevivir al fuego, en la frecuencia e intensidad que caracteriza a los incendios forestales de la región chaqueña, cuando el porcentaje de daño al fuste y/o la copa no supera un umbral aún no

determinado con exactitud. En otras especies, como algunas del género *Pinus*, caracterizados también por contenidos resinosos muy inflamables en el leño, tienen mayor probabilidad de sobrevivir cuando el porcentaje del daño al fuste no supera el cuarto de su circunferencia (Ryan, 1990). Sin embargo, esto debe ser convenientemente establecido para esta y otras especies nativas del Chaco.

6. Reseña final

El reconocimiento de las estrategias adaptativas que las especies desarrollan para sobreponerse al fuego es muy importante para valorar el verdadero papel de este evento dentro de las comunidades vegetales. Las fluctuaciones en la diversidad de las comunidades con posterioridad a la ocurrencia del fuego tienen su origen en la capacidad de resistencia o la susceptibilidad de las distintas especies frente a este fenómeno y de los mecanismos que utilizan para persistir en el tiempo.

El efecto del fuego sobre las plantas depende fundamentalmente de la forma de vida, del nivel de reservas para sobreponerse al daño y de las características del fuego. El conocimiento del efecto del fuego sobre los distintos componentes de una comunidad es fundamental para administradores ambientales que intentan implementar el fuego con fines de manejo.

Además del aspecto ecológico, la determinación de los daños producidos por el fuego sobre las leñosas tiene un perfil económico que es necesario valorar, sobre todo atendiendo a la importancia del aprovechamiento forestal dentro de la Región Chaqueña.

7. Bibliografía

- Agee J. 1993. Fire Ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press, Covelo. California. Ch. 4.
- Bradley A. y N Noste. 1992. Fire Ecology of Forests and Woodlands in Utah. U. S. Forest Service, Intermountain Research Station.
- Bravo S. inédito. Efecto del Fuego sobre los Patrones de Crecimiento en Leñosas de la Región Chaqueña Seca. Informe Final Beca de Iniciación, Secretaría de Ciencia y Técnica de Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Bravo S. inédito. Modificaciones Causadas por Fuego en el Leño de *Schinopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl. Et Meyer, Anacardiaceae y *Aspidosperma quebracho-blanco*, Apocynaceae. Informe Final Beca de Perfeccionamiento, Secretaría de Ciencia y Técnica de Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Bravo S, C Kunst, A Giménez y G Moglia. 2001a. Fire Regime of a *Elionorus muticus* Spreng Savanna, Western Chaco Region Argentina. International Journal of Wildland Fire (10), 65-72. USDA, Forest Service and the International Association of Wildland Fire, USA. ISSN 1049-8001.

- Bravo S. A. Giménez y G. Moglia. 2001 b. Efecto del Fuego en la Madera de *Prosopis alba* Griseb. y *P. nigra* (Griseb.) Hieron. Mimosaceae. Revista Bosque, 22 (1): 51 - 63, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. ISSN 0304-8799.
- Bucher E. 1982. South American Arid Savannas, Woodlands and Tickets. Pp. 48 - 79. Ecology of Tropical Savannas. Ecol. Studies Vol. 42. Springer Verlag, Berlín.
- Bucher E. 1987. Herbivory in arid and semi-arid regions of Argentina. Revista Chilena de Historia Natural 60:265-273.
- Coutinho L. 1990. Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado. Fire in the Tropical Biota. Ecological Studies 84. Springer Verlag. Ch.6. Pg 82 - 103.
- Gill A. 1981. Adaptative responses of australian vascular plant species to fires. Fire and Australian Biota. Australian Academy of Science. Canberra. Ch. 11: 243-271.
- Gill M. 1995. Stems and Fires. In: Gartner, N. G., ed. Plant Stem Physiology and Functional Morphology. San Diego, CA: Academic Press: 323-342.
- Giménez A. y J. Moglia. 1987. Rasgos estructurales característicos de cortezas de especies leñosas nativas del distrito chaqueño occidental. Primeras Jornadas de Zonas Áridas y Semiáridas. Pp 190-198.
- Ginocchio R. et al. 1994. Effect of fire on plant architecture in Chilean Shrubs. Revista Chilena de Historia Natural 67:177-182.
- Goldammer, J. y S. Peñafiel. 1990. Fire in the pine-grassland biomes of tropical and subtropical Asia. Fire in the Tropical Biota. Ecosystems Processes and Global Changes. Ecological Studies 84. Springer Verlag (Ed. Goldammer, J.). Ch. 4:45-62.
- Henst G. y J. Dawson. 1994. Bark properties and fire resistance of selected tree species from Central Hardwoods Region of North America. Canadian Journal of Forest Research. Vol. 24(4):668-696.
- Hungerford R., M. Harrington, W. Frandsen, K. Ryan y G. Niehoff. 1991. Influence of Fire on Factors that Affect Site Productivity. Pg. 32 - 50. En A. Harvey y J. Neuenschwander (eds.). Proceedings Management and Productivity of Western Montane Forest Soils. USDA.
- Kauffman I. 1990. Ecological relationships of vegetation and fire in Pacific Northwest Forest. Natural and prescribed fire in Pacific Northwest Forest. Oregon States University Press. Corvallis Oregon. Pp. 39-52.
- Keeley J. 1991. Seed germination and life history syndromes in the California Chaparral. The Botanical Review 57: 81 - 116.
- Kitzberger T., T. Veblen y R. Villalba. 2000. Métodos Dendroecológicos y sus Aplicaciones en Estudios de Dinámica de Bosques Templados de Sudamérica. Dendrocronología de América Latina. F. A. Roig (Comp.) EDIUNC, Mendoza, Argentina. Pp 17-78.
- Kunst C., S. Bravo, F. Moscovich, J. Herrera, J. Godoy y S. Vélez. 2000. Control de Tusca (*Acacia aroma* Gill. Ap H. Et A.) Mediante Fuego Prescripto. Revista Argentina de Producción Animal. Vol. 20:199-213.
- Lorimer C. 1991. Comportamiento y Manejo de Incendios Forestales. Introducción a las Ciencias Forestales. Ed. Noriega Limusa. México.
- Miller M. 2000. Fire Autecology. Chp. 2. Wildland Fire in Ecosystems. Effects of Fire on Flora. Forest Service USDA. Vol.2: 9 - 34.
- Reich P., M. Abrams, D. Ellsworth, E. Kruger y T. Tabone. 1990. Fire effects ecophysiology and community dynamics of Central Wisconsin Oak Forest regeneration. Ecology 71 (6). Pp 2179-2190.
- Rodríguez N. y P. Cwielong. 1993. Uso del fuego en quemas controladas. Memoria del Seminario-Taller Ecología y Manejo de Fuego en Ecosistemas Naturales y Modificados, Sgo. del Estero, 2, 3, 4 de junio. E.E.A.S.E. INTA, Secretaría de Agricultura y Pesca. Pp. 110-115.
- Robbins L. y R. Myers. 1998. Seasonal Effects of Prescribed Burning in Florida: a Review. Tall Timbers Research, Inc. Miscellaneous Publication N° 8.
- Ryan K. 1990. Predicting Prescribed Fire Effects on Trees in the Interior West. The Art and Science of Fire Management. Proceedings of the First Interior West Fire Council Annual Meeting and Workshop Kananaskis Village, Alberta.
- Ryan K. y B. Steele. 1989. Cambium mortality resulting from broadcast burning in mixed conifer shelterwoods. p. 108 - 116. Proc. 10th Conference on Fire and Forest Meteorology. Ottawa Canada.
- Sarmiento G., G. Goldstein y F. Meinzer. 1985. Adaptative Strategies of Woody Species in Neotropical Savannas. Biol. Rev. 60 (315 - 355).
- Steuter A. y G. McPherson. 1995. Fire as a physical stress. Physiological ecology and Developmental Morphology. Wildland Plants. Society for Range Management. Pp 550-579.
- Strahler A. 1984. Geografía Física. Editorial Omega. 767 pp.
- Smith K. y E. Sutherland. 2001. Terminology and Biology of Fire Scars in Selected Central Hardwoods. Tree Ring Research, 57:141-147.
- Sutherland E. y K. Smith. 2000. Resistance is not futile: The response of hardwoods to fire-caused wounding. Proceedigs Workshop on Fire, People and the Central Hardwoods Landscape. Pp. 111-115.

Trollope W. 1984. Fire in Savanna. Ecological Effects of Fire in South African Ecosystems. Springer Verlag. Ch.7:149 - 197.

Danckwerts W. 1989. Plant growth and responses to defoliation. Veld Management in Eastern Cape. Pasture Research Section Eastern Cape Region Department of Agriculture and Water Supply. Pp 8 - 19.

Wright H y A Bailey. 1982. Fire Ecology in the United States and Canada. J. Wiley and Sons, New York. 501 pages.

El fuego y la vegetación del sur del Caldenal

Daniel V. Peláez¹, Roberto M. Bóo¹ y Mirta D. Mayor²



Caldenal quemado Foto: J.L.Panigatti (2002)

¹ Departamento de Agronomía – Universidad Nacional del Sur (UNS), Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) y Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS). Bahía Blanca.
e-mail: dpelaez@criba.edu.ar

² Departamento de Agronomía – Universidad Nacional del Sur.

1. Introducción

En la mayoría de los ecosistemas terrestres el fuego ha ocurrido en forma constante desde tiempos remotos. Registros fósiles e históricos revelan la ocurrencia periódica de fuegos en pastizales, en pastizales-arbustales, en sabanas y en bosques de África (Trollope y Potgieter 1985; van de Venter y Esterhuizen 1988), de Australia (Hodgkinson *et al.*, 1982; Fensham 1990), de América del Sur (Bóo 1980; Defossé 1996), de América del Norte (Wright y Bailey 1982; Grissino-Mayer y Swetnam 1997) y de Europa (Canadell *et al.*, 1991; Tarrega *et al.*, 1992). Históricamente, la alternancia de condiciones favorables para el crecimiento vegetal, y por ende para la acumulación de combustibles, con períodos de sequías intensas y altas temperaturas han conducido a la ocurrencia de fuegos naturales. Además, el hombre ha usado el fuego con fines de caza y bélicos desde la prehistoria. El fuego es un factor ambiental que actúa como una fuerza natural que inicia y / o continúa ciertos procesos. Junto a las actividades desarrolladas por el hombre, ha modelado la estructura y el funcionamiento de diversas comunidades vegetales a través del tiempo.

Noble *et al.*, (1986) señalan que la mayoría de los pastizales naturales son resilientes al fuego pero no necesariamente estables, ya que pueden ocurrir cambios significativos en la estructura y en la composición de los mismos. La respuesta de la vegetación al fuego depende de características ligadas a él tales como temperatura, intensidad y duración, como así también de la época y frecuencia de su ocurrencia (Gibson *et al.*, 1990). Luego de un prolongado proceso de adaptación muchas plantas han desarrollado características que les permiten sobrevivir y reproducirse en ambientes propensos al fuego. Según Whelan (1995), las plantas produjeron estrategias evolutivas de supervivencia bajo un determinado régimen de fuego definido por la interacción entre frecuencia, intensidad, estación de fuego y características del combustible y del suelo.

La respuesta diferencial al fuego observada en muchas especies, tanto de gramíneas perennes como de leñosas, permite su utilización con el fin de manipular la composición vegetal de los pastizales naturales (Orr y Paton, 1997; Orr *et al.*, 1997). Sumado a ello, la percepción de que los fuegos accidentales y/o naturales pueden producir efectos no deseados sobre el ecosistema y daños a instalaciones públicas y privadas, ha impulsado su empleo bajo régimen controlado y prescripto, como una herramienta de manejo preventivo para el mantenimiento y/o mejoramiento de los pastizales naturales.

Los objetivos que se persiguen al emplear el fuego como herramienta de manejo varían se-

gún el tipo de vegetación considerado. Entre los más importantes se incluyen: a) incrementar la palatabilidad, la calidad y la producción de las especies forrajeras, b) controlar la proliferación de especies indeseables, c) reducir la competencia por agua, luz y nutrientes que ejercen las especies indeseables sobre las especies forrajeras, y d) reducir las probabilidades de ocurrencia de fuegos accidentales (Vallentine 1989; Heady y Child, 1994).

En este capítulo se analizan los efectos del fuego sobre las gramíneas perennes y las especies leñosas más conspicuas del sur del Distrito Fitogeográfico del Caldén (Cabrera, 1976) y su importancia con relación al manejo de los pastizales naturales de la región.

2. El distrito fitogeográfico del caldén

El Distrito Fitogeográfico del Caldén (Cabrera, 1976), comúnmente conocido como el Caldenal, comprende una superficie aproximada de 40.000 km² de la región semiárida templada central de Argentina. Se extiende desde el centro de San Luis abarcando el centro de La Pampa hasta el sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

La principal actividad económica en el sur del Caldenal, debido a las limitaciones climáticas y edáficas que presenta, la constituye la cría de ganado vacuno basada en forma casi exclusiva en la utilización de la vegetación natural. El pastoreo continuo con altas cargas animales y la consecuente alteración de la frecuencia histórica de fuegos (Distel y Bóo, 1995), han tenido un gran impacto en la dinámica de las comunidades vegetales de la región. Esta mala utilización de los recursos favoreció la transformación de extensas superficies ocupadas por productivos pastizales, con una baja densidad de arbustos e individuos adultos de *Prosopis caldenia* y *Prosopis flexuosa* aislados, en densos pajonales dominados por gramíneas de escasa preferencia animal o en "fachinales" impenetrables.

2.1. El clima, el suelo y la vegetación

En el sur del Caldenal, la precipitación media anual varía entre 400 y 600 mm. Las lluvias ocurren principalmente en otoño y primavera. El promedio anual de temperatura es de 15,3°C, siendo enero el mes más cálido (23,6°C) y junio (7°C) el más frío. Los suelos predominantes son Calciustoles (USDA, 1975) con textura media a gruesa, bien drenados y con un horizonte petrocálcico a una profundidad promedio de 50 cm.

La vegetación es relativamente homogénea (Bóo y Peláez, 1991) con un estrato leñoso de

densidad variable y un estrato herbáceo dominado por gramíneas perennes. Las especies leñosas más abundantes son *P. caldenia*, *P. flexuosa*, *Larrea divaricata*, *Condalia microphylla* y *Chiquiraga erinacea*. La vegetación herbácea está compuesta principalmente por *Piptochaetium napostaense* y *Stipa tenuis*, dos gramíneas de ciclo otoño-invierno-primaveral (Distel y Peláez, 1985) y de reconocido valor forrajero. Otras gramíneas valiosas que se encuentran en forma aislada o formando "manchones" son *S. clarazii* y *Poa ligularis*. Además, existe un grupo de gramíneas de escaso o nulo valor forrajero dominado por *S. gynerioides*, *S. speciosa* y *S. tenuissima*.

2.2. Rol del fuego

La ocurrencia de fuegos accidentales y/o naturales en La Pampa, provincia en la cual está localizada la mayor parte del Caldenal, es un evento frecuente. Los mismos ocurren principalmente durante el verano con temperaturas altas, humedad relativa baja y vientos intensos. La ocurrencia de fuegos bajo estas condiciones climáticas suele causar pérdidas de alambrados y animales y provoca disturbios extremos en el ecosistema. Lell (1990) estimó que la frecuencia de ocurrencia actual de incendios en La Pampa es cercana a 10 años, quemándose en promedio 285.000 ha por año. Es probable, que esta frecuencia haya disminuido desde la introducción del ganado doméstico debido a la reducción de combustibles finos y a la construcción de contrafuegos.

Bóo (1990) concluyó, a partir de observaciones, resultados experimentales obtenidos en la región y análisis de información existente en la bibliografía internacional para ecosistemas similares al Caldenal, que el fuego es un factor ecológico natural que ha tenido una influencia muy importante en la evolución de las especies y en la dinámica de la vegetación de los pastizales naturales del sur del Caldenal.

3. Efectos del fuego sobre la vegetación

3.1. Gramíneas perennes

Bóo et al. (1996) estudiaron los efectos de un fuego accidental de alta severidad (ocurrido en el mes de enero) y de dos quemadas controladas de media y baja severidad (realizadas a fines de marzo y principios de abril) sobre varias especies de gramíneas perennes en el sur del Caldenal. Las quemadas controladas se condujeron bajo similares condiciones ambientales: 22°C de temperatura ambiente, 32-33% de humedad relativa y 13-16 km/h de velocidad del viento. El com-

bustible fino acumulado osciló entre 2.610–3.090 kg MS/ha. Las condiciones bajo las que ocurrió el fuego accidental no se conocen, pero se puede asumir con seguridad que la temperatura ambiente y la velocidad del viento fueron altas y la humedad relativa fue baja. Los resultados obtenidos muestran que la densidad de *S. gynerioides* y *S. speciosa* se redujo luego de la quema accidental y de la quema de abril. Las densidades de las restantes especies estudiadas no mostraron cambios significativos. Sin embargo, después de la quema controlada de marzo, se redujo la densidad de *S. gynerioides* y *S. clarazii* (*S. longiglumis* en el original) y aumentó la de *S. tenuis*. Además, se observó una significativa disminución del porcentaje de cobertura foliar de *S. gynerioides* y *S. speciosa* después de todos los regímenes de fuego. En la segunda estación de crecimiento posterior a la ocurrencia de las quemadas *P. napostaense* y *S. tenuis* mostraron un sostenido aumento en sus valores de cobertura foliar. Este comportamiento pudo ser resultado de los efectos combinados de la tolerancia al fuego, competencia reducida y descanso del pastoreo. El diámetro basal siguió patrones de cambio similares a los del porcentaje de cobertura foliar.

Asimismo, Bóo et al. (1996) encontraron que la mortalidad de las especies estudiadas, en general aumentó con la severidad del fuego. Luego del fuego accidental, los porcentajes de mortalidad de *S. gynerioides* (85,9%) y *S. speciosa* (55,9%) fueron mayores que los de *S. clarazii* (20,1%), *S. tenuis* (38,2%), *P. napostaense* (27,9%) y *P. ligularis* (22,1%). Los autores atribuyeron esta mayor mortalidad a que los puntos de crecimiento de las plantas de *S. gynerioides* y *S. speciosa* estuvieron expuestos a temperaturas más altas que los de las otras gramíneas estudiadas. Esto último podría originarse por una mayor acumulación de material muerto en estas especies causada por su mayor tamaño y por ser raramente consumidas por el ganado.

Los porcentajes de mortalidad observados después de la quema controlada realizada en marzo fueron menores que los registrados luego de la quema accidental: *S. gynerioides* (37,5%), *S. speciosa* (22,5%), *S. tenuis* (20%), *P. napostaense* (22,5%), y *P. ligularis* (17,5%) con excepción de *S. clarazii* en la que aumentó (27,5%). Después de la quema de abril, el porcentaje de mortalidad de *P. ligularis* (17,1%) fue similar al registrado luego de la quema de marzo; mientras que, el porcentaje de mortalidad de *S. tenuis* (25%) mostró un leve incremento. En cambio, los porcentajes de mortalidad de *P. napostaense* (12,5%), *S. clarazii* (15%), *S. gynerioides* (2,5%), y *S. speciosa* (2,5%) se redujeron. Según los autores, el mayor contenido hídrico del suelo (8,3 vs. 4,7%) sería responsable

de los menores porcentajes de mortalidad observados luego de esta quema. La evaporación ocurrida durante el fuego podría haber evitado que se alcanzaran temperaturas letales para los puntos de crecimiento. La variación en los porcentajes de mortalidad de *S. tenuis* (20-38,2%), *P. napostaense* (12,5-27,9%), *S. clarazii* (15-27,5%) y *P. ligularis* (17,1-22,1%), especies que son pastoreadas intensamente por el ganado vacuno, indicaron que son más tolerantes a los efectos del fuego que las especies que no son pastoreadas.

Peláez et al., (2001), también evaluaron la mortalidad de plantas de *P. napostaense*, *S. tenuis* y *S. gynerioides* expuestas a diferentes intensidades de fuego aplicadas en distintas épocas del año (otoño: abril y mayo, y verano: diciembre y enero). Informaron que, independientemente de la época de quema, en todas las especies, la mortalidad fue mayor en presencia de fuegos de alta intensidad (500-600°C) que a baja intensidad (300-400°C). Sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas. *Stipa gynerioides* presentó su mayor mortalidad promedio (20%) luego de los tratamientos aplicados en enero; mientras que *P. napostaense* (55%) y *S. tenuis* (85%) lo hicieron luego de los tratamientos de mayo. Sólo se encontraron diferencias significativas entre la mortalidad promedio de *P. napostaense*, *S. tenuis* y *S. gynerioides* (15%) después de esta última fecha de quema. Los altos porcentajes de mortalidad observados en las dos primeras especies probablemente se debieron a las condiciones de sequía registradas después de realizada la quema o a la interacción entre los daños directos producidos por el fuego y las condiciones de sequía. Contrariamente, *S. gynerioides* fue menos susceptible a dichas condiciones.

El fuego, independientemente de la época de quema, afectó la viabilidad de las yemas axilares de las macollas de las plantas de *P. napostaense*, *S. tenuis* y *S. gynerioides* (Peláez et al., 1997; Peláez, 2000). En general, el número de yemas axilares muertas en las macollas de las plantas expuestas a alta intensidad de fuego (500-600°C) fue levemente superior al de las plantas expuestas a baja intensidad (300-400°C). El porcentaje promedio de yemas axilares muertas, considerando todos los tratamientos de alta y baja intensidad efectuados, fue 58% para *P. napostaense*, 60% para *S. tenuis* y 65% para *S. gynerioides*. Estos resultados sugieren que las tres especies poseen una capacidad potencial de rebrote similar. No obstante, las yemas axilares de *S. gynerioides* son aparentemente más sensibles a los efectos del fuego.

La severa disminución de la viabilidad de las yemas axilares y la falta de diferencias en el número de yemas axilares muertas entre estas

tres especies puede atribuirse a que las yemas axilares (intermedias y distales) de las macollas tuvieron, al momento de efectuarse las quemas, una altura de 1 - 2 cm por encima de la superficie del suelo. Las macollas del centro de las plantas de *S. tenuis* y *S. gynerioides* tuvieron un número mayor de yemas axilares muertas que las macollas de la periferia, debido a que en el centro las temperaturas fueron más altas y mayor el tiempo de combustión. Esto se relacionó con el tamaño de las plantas y la cantidad de combustible acumulado en las mismas. A diferencia de lo observado en las otras dos especies, el fuego afectó por igual la viabilidad de las yemas axilares de las macollas centrales y periféricas de las plantas de *P. napostaense*. Busso et al. (1993) informaron que las macollas de *S. tenuis* presentaron un elevado número de yemas axilares muertas (82%) después de un fuego controlado.

Sin embargo, no observaron diferencias en la mortalidad de yemas axilares entre las macollas centrales y periféricas de las plantas, lo que fue atribuido al tamaño reducido de las mismas.

El fuego puede afectar en forma diferencial a los componentes del crecimiento aéreo de *S. tenuis*, *P. napostaense* y *S. gynerioides*. Peláez (2000) informó que el fuego redujo severamente la longitud total verde (láminas + tallos más vainas) de las macollas de esas especies durante los primeros meses (2-3 meses) después del fuego. El efecto fue más pronunciado en las plantas que expuestas a alta intensidad de fuego (500-600°C). Al final del ciclo de crecimiento subsiguiente a la mayoría de las quemas realizadas, la longitud total verde de las macollas de las plantas quemadas de *P. napostaense*, fue similar o superior al de las plantas control (sin quemar). Esta respuesta sólo se observó ocasionalmente en las macollas de las plantas de *S. tenuis* y *S. gynerioides*.

La relación entre la altura de macollas y el fuego fue similar a los de la longitud total verde de las macollas. Las tasas relativas de crecimiento de la longitud total verde y de la altura en las macollas de las plantas quemadas de *S. tenuis*, *P. napostaense* y *S. gynerioides* fueron mayores que en las plantas control. El número de hojas verdes por macolla, en las plantas quemadas de todas las especies estudiadas, fue similar o mayor que en las plantas control al final de cada ciclo de crecimiento. Por ello, se concluye que *P. napostaense* fue la especie más tolerante al fuego y *S. gynerioides* la más susceptible. La respuesta al fuego observada en el crecimiento de *P. napostaense* y *S. tenuis* sugiere que las mismas podrían haber desarrollado a través del tiempo estrategias a fin de tolerar el impacto de la remoción de follaje causada por el fuego.

3.2. Especies leñosas

Los efectos del fuego sobre las especies leñosas en el sur de Caldenal dependen de la intensidad del fuego. Willard (1973) analizó los efectos de un fuego accidental sobre *P. caldenia*, *P. flexuosa*, *L. divaricata*, *Geoffroea decorticans*, *Prosopis alpataco* y *Schinus fasciculatus*. Las observaciones efectuadas un año después de ocurrido el fuego, mostraron que la mortalidad promedio de plantas en un área quemada a favor del viento fue del 58% mientras que en un área quemada en contra del viento este parámetro estuvo en el orden del 36%. Los valores extremos en la primera de las áreas mencionadas fueron 82% para *S. fasciculatus* y 38% para *G. decorticans*, y en el área quemada en contra del viento fueron 55% para *S. fasciculatus* y 18% para *P. caldenia*. Estos resultados se atribuyeron a la mayor severidad del fuego cuando se quema a favor del viento, condición en la cual se consume mayor cantidad de combustible por unidad de tiempo. Asimismo, Willard (1973) informó que todas las especies estudiadas poseen la capacidad de rebrotar luego del fuego. Sin embargo, el porcentaje de plantas que rebrotaron varió de acuerdo a la especie y a la intensidad del fuego y fueron marcadamente menores en el área quemada a favor del viento.

Luego de un fuego controlado realizado bajo condiciones ambientales consideradas moderadas (25°C de temperatura ambiente, 50% de humedad relativa, 10 km.h⁻¹ de velocidad del viento, y 1500 kg MS.ha⁻¹ de combustibles finos), Braun y Lamberto (1976) encontraron porcentajes de mortalidad bajos o casi nulos entre otras especies para *L. divaricata* (17%), *P. caldenia* (15%), *C. microphylla* (11%), *Prosopidastrum globosum* (2%) y *G. decorticans* (1%). Observaron también una marcada disminución en la cobertura de las especies leñosas por combustión de sus partes aéreas, lo que disminuyó parcialmente la cobertura de las especies leñosas favoreciendo a las especies forrajeras que componen el estrato herbáceo.

Bóo et al. (1997) evaluaron los efectos de diferentes intensidades de fuego y épocas de quema sobre las cinco especies leñosas más abundantes en el sur del Caldenal: *P. caldenia*, *P. flexuosa*, *C. microphylla*, *L. divaricata* y *Ch. erinacea*. Las condiciones bajo las cuales se llevaron a cabo las quemas controladas y probablemente ocurrió el fuego accidental fueron informadas por Bóo et al. (1996). En general, los porcentajes de mortalidad registrados fueron bajos. La especie más susceptible a los efectos del fuego fue *L. divaricata* que, al final del primer ciclo de crecimiento posterior a la quema accidental, tuvo un porcentaje de mortalidad de 55%. Luego de las quemas controladas de severidad media y baja, su mortalidad fue 42,5% y

27,5%, respectivamente. Al final del segundo ciclo de crecimiento posterior a todas las quemas estudiadas, se observó un incremento que osciló entre 5 y 10% en la mortalidad de esta especie. Según los autores esta respuesta se debería a la acción combinada de factores tales como el debilitamiento de las plantas (Willard, 1973), factores climáticos (heladas tardías intensas y prolongadas) y a la competencia interespecífica.

Chuquiraga erinacea también evidenció cierto grado de susceptibilidad al fuego. Luego de la quema accidental registró un porcentaje de mortalidad de 10%. Luego de las quemas controladas de severidad media y baja, su mortalidad fue 17,5% y 5% respectivamente. Sólo un número reducido de plantas de *P. caldenia*, *P. flexuosa*, *C. microphylla* murieron después del fuego independientemente de la intensidad del mismo. La parte aérea de todas las plantas de la última especie mencionada murió a causa del fuego y el 12,5% fueron registradas como muertas al final del primer ciclo de crecimiento posterior a la quema accidental. Sin embargo, varias de esas plantas rebrotaron a partir de yemas que se encontraban en estado de dormición (Montaldi 1995) localizadas 5-6 cm por debajo de la superficie del suelo durante el segundo ciclo de crecimiento posterior al fuego. En consecuencia, la mortalidad se redujo al 5%. La escasa variación de la temperatura del suelo a esa profundidad durante el fuego (Peláez, 2000) no habría afectado la viabilidad de la yemas de *C. microphylla* localizadas en su sistema radical. *P. caldenia* fue la especie más tolerante al fuego. En todo el estudio sólo se halló una planta muerta de esta especie.

En el trabajo de Bóo et al. (1997) se informó que el diámetro de la canopia de las plantas de *P. caldenia*, *P. flexuosa*, *C. microphylla*, *L. divaricata* y *Ch. erinacea* se redujo por el fuego siendo tal reducción mucho más pronunciada en las últimas tres especies mencionadas. La disminución más marcada se observó al final del primer ciclo de crecimiento posterior al fuego. A partir de ese momento, el diámetro de la canopia de las plantas comenzó a aumentar, e incluso en el caso de *P. flexuosa* se registraron valores similares a los originales.

La altura de las plantas de todas las especies fue severamente reducida por el fuego pero, durante la estación de crecimiento subsiguiente, se registró un rápido crecimiento de rebrotes. Durante las estaciones vegetativas posteriores las tasas de crecimiento tendieron a disminuir y, a los tres años de ocurridos los fuegos, ninguna de las especies estudiadas recuperó su altura original. Larrea divaricata redujo drásticamente y persistentemente el porcentaje de su cobertura aérea después de fuego lo que estuvo asociado a

los altos porcentajes de mortalidad registrados y a la severa reducción de la canopia que sufrieron las plantas sobrevivientes. El fuego, especialmente los de mayor intensidad, disminuyeron también en forma persistente la cobertura aérea de *C. microphylla*, *Ch. erinacea* y *P. flexuosa*. Sin embargo, la cobertura aérea de *P. caldenia* sólo fue reducida en forma significativa por el fuego accidental.

La densidad de las especies estudiadas sólo fue levemente afectada. Nuevamente *L. divaricata* fue la especie cuya densidad fue reducida significativamente luego de las quemas controladas. Los autores concluyeron que las especies estudiadas mostraron distinto grado de susceptibilidad a los efectos del fuego y que las mismas se pueden disponer, siguiendo un orden decreciente de acuerdo a su tolerancia al fuego, de la siguiente forma: *P. caldenia*, *P. flexuosa*, *C. microphylla*, *Ch. erinacea* y *L. divaricata*.

4. Consideraciones prácticas

La información disponible a cerca de los efectos del fuego sobre la vegetación en el sur del Caldenal permite realizar algunas consideraciones a fin de maximizar los beneficios que se pueden obtener mediante el empleo del fuego como herramienta de manejo. El uso de fuegos controlados conducidos bajo condiciones ambientales moderadas, a fines del verano o prin-

cipios del otoño, puede favorecer a las gramíneas forrajeras más importantes (*P. napostaense* y en menor grado *S. tenuis*) en desmedro de las gramíneas no forrajeras. Es altamente probable que este último grupo de especies, como así también las especies leñosas, resulten mucho más afectadas por fuegos más intensos conducidos bajo condiciones ambientales más extremas (ej. en verano). Sin embargo, el riesgo que esos fuegos se tornen incontrolables es grande. Asimismo, la ocurrencia de un único fuego no produce aparentemente el reemplazo de especies ya que la comunidad vegetal persiste, con leves variaciones en la abundancia de las principales especies de gramíneas perennes y de leñosas.

Por lo tanto, una práctica que combine la realización de fuegos repetidos, de severidad moderada, con un manejo apropiado del pastoreo, puede ser de fundamental importancia para reducir la proliferación de especies indeseables en el sur del Caldenal. El efecto final del fuego sobre el ecosistema puede ser extremadamente complejo debido a la gran cantidad de factores que pueden incidir en el mismo. Por lo tanto, futuras experiencias no sólo deberían profundizar el estudio de la respuesta de las especies y de las comunidades a diferentes épocas y frecuencias de fuego, sino que sería también conveniente evaluar el efecto de factores tales como la disponibilidad de agua en el suelo, el nivel de competencia inter e intraespecífica y/o el nivel de herbivoría sobre esa respuesta.

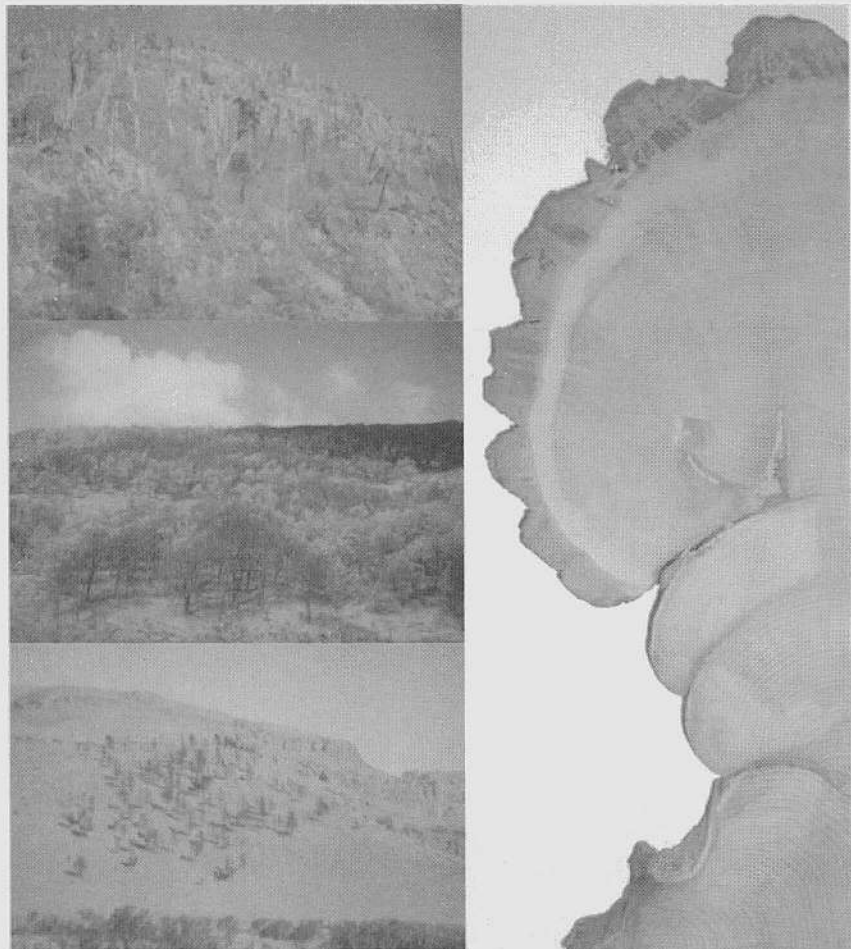
5. Bibliografía

- Bóo R. 1980. El fuego en los pastizales. *Ecología* 4: 13-17.
- Bóo R. 1990. Algunos aspectos a considerar en el empleo del fuego. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de La Pampa* 5: 63-80.
- Bóo R. y D. Peláez. 1991. Ordenamiento y clasificación de la vegetación en un área del sur del Distrito del Caldén. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 27(3/4): 131-141.
- Bóo R., D. Peláez, S. Bunting, O. Elia y M. Mayor. 1996. Effect of fire on grasses in central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environment* 32: 259-269.
- Bóo R., D. Peláez, S. Bunting, O. Elia y M. Mayor. 1997. Effect of fire on woody species in central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environment* 35: 87-94.
- Braun R. y S. Lamberto. 1976. Modificaciones producidas por incendios en la integración de los componentes leñosos de un monte natural. *Revista de Investigaciones Agropecuarias. Serie* 11: 11-27.
- Busso C., R. Bóo y D. Peláez. 1993. Fire effects on bud viability and growth of *Stipa tenuis* in semi-arid Argentina. *Annals of Botany* 71: 377-381.
- Cabrera A. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas: 1-85. En: *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. ACME, Buenos Aires, Argentina.

- Canadell J., F. Lloret y L. López-Soria. 1991. Resprouting vigour of two mediterranean shrub species after experimental fire treatments. *Vegetatio* 95: 119-121.
- Defossé G. 1996. Introducción a la ecología del Fuego: 1-8. En: Fuego Prescripto. Introducción a la Ecología de fuego y Manejo de Fuego Prescripto (Eds. C. Kunst y F. Moscovich). INTA Santiago del Estero y Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina.
- Distel R. y R. Bóo. 1995. Vegetation states and transitions in temperate semiarid rangelands of Argentina. Vth International Rangeland Congress. Proceedings:117-118. Utah, EEUU.
- Distel R. y D. Peláez. 1985. Fenología de algunas especies del Distrito del Calden (*Prosopis caldenia* Burk.). IDIA 441-444: 35-40.
- Fensham R. 1990. Interactive effects of fire frequency and site factors in tropical *Eucalyptus* forest. *Australian Journal of Ecology* 15: 255-266.
- Gibson D., D. Hartnett y G. Merrill. 1990. Fire temperature heterogeneity in contrasting fire prone habitats: Kansas tallgrass prairie and Florida sandhill. *Bulletin Torrey Botanical Club* 117: 349-356.
- Grissino-Mayer H. y T. Swetnam. 1997. Multi-century history of wildfire in the ponderosa pine forest of El Malpais National Monument. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, Bulletin 156: 163-171.
- Heady H. y D. Child. 1994. Rangeland Ecology and Management. McGraw-Hill, New York, USA. 519 págs.
- Hodgkinson K., W. Gordon y D. Smith. 1982. A field device for integrating temperature sensed in grass or forest fires. *Australian Journal of Ecology* 7: 403-409.
- Lell J. 1990. Incendios de bosques en La Pampa. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de La Pampa* 5: 29-33.
- Montaldi E. 1995. Principios de Fisiología Vegetal. Ediciones SUR, La Plata, Argentina. 298 págs.
- Noble J., G. Harrington y K. Hodgkinson. 1986. The ecological significance of irregular fire in Australian rangelands. Proceedings of the Second International Rangeland Congress: 577-580.
- Orr D. y C. Paton. 1997. Using fire to manage species composition in *Heteropogon contortus* (black peargrass) pastures. 2. Enhancing the effects of fire with grazing management. *Australian Journal Agricultural Research* 48: 803-810.
- Orr D., C. Paton y A. Lisle, A.T. 1997. Using fire to manage species composition in *Heteropogon contortus* (black speargrass) pastures. 1. Burning regimes. *Australian Journal Agricultural Research* 48: 795-802.
- Peláez D. 2000. Respuesta de Gramíneas Perennes Nativas del Caldenal a Distintas Intensidades de Fuego. Tesis de Doctor en Agronomía. UNS. 108 pp.
- Peláez D., R. Bóo, M. Mayor y O. Elía. 2001. Effect of fire on perennial grass species in central semiarid Argentina. *Journal of Range Management* 54(5): 617-621.
- Peláez D., R. Bóo, O. Elía, y M. Mayor. 1997. Effect of fire intensity on bud viability of three grass species native to central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments* 37: 309-317.
- Tarrega R., L. Calvo y L. Trabaud. 1992. Effect of high temperatures on seed germination of two woody Leguminosae. *Vegetatio* 102: 139-147.
- Trollope W. 1980. Controlling bush encroachment with fire in the savanna areas of South Africa. *Proceedings Grasslands Society South Africa* 15: 173-177.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1975. Soil taxonomy. Agriculture Handbook 436. Washington D.C.: Soil Conservation Service. 754 págs.
- Trollope W. y A. Potgieter. 1985. Fire Behaviour in the Kruger National Park. *Journal of Grassland Society South Africa* 2:17-22.
- Vallentine J. 1989. Range Development and Improvements. Academic Press, London, UK. 524 págs.
- Van de Venter H. y A. Esterhuizen. 1988. The effect of factors associated with fire on seed germination of *Erica sessiliflora* and *E. hebecalyx* (Ericaceae). *South African Journal Botany* 54: 301-304.
- Whelan R. 1995. The Ecology of Fire. Cambridge University Press, Cambridge, England. 346 págs.
- Willard E. 1973. Effect of wildfire on woody species in the monte region of Argentina. *Journal of Range Management* 26: 97-100.
- Wright H. y A. Bailey. 1982. Fire Ecology. John & Sons, New York, USA. 501 págs.

Regímenes de fuego en el gradiente bosque-estepa del noroeste de Patagonia: variación espacial y tendencias temporales

Thomas Kitzberger¹



Fuego en Patagonia Foto: Thomas Kitzberger

¹ Laboratorio Ecotono-CRUB, Universidad Nacional del Comahue, San Carlos de Bariloche, Río Negro.
e-mail: tkitzber@crub.uncoma.edu.ar

1. Introducción

Las características espaciales y temporales que definen el régimen de fuego de un determinado ecosistema son el resultado la interacción entre fuentes externas de ignición y características del ecosistema como cantidad, calidad y distribución de combustibles que afectan la extensión e intensidad del fuego (Christensen, 1988). A lo largo de gradientes ambientales se espera que tanto los factores que desencadenan como los que predisponen la ocurrencia de fuego varíen en forma marcada (Veblen et al., 1992a). Así, una mayor continuidad de combustibles en un bosque denso con mayor disponibilidad de agua generalmente permite el desarrollo de regímenes de fuego de copa de alta intensidad y tamaño mientras que ecosistemas con limitaciones hídricas, por tener menor biomasa dispuesta en una forma vertical y horizontalmente discontinua, estarán habitualmente sujetos a régimen de fuegos de superficie o mixtos de variada intensidad (Harmon et al., 1983, Veblen et al., 2000).

Suponiendo que los ecosistemas son resilientes y retornan luego del disturbio a características estructurales y composicionales similares a las pre-disturbio, los tiempos para llevar a cabo estos procesos varían marcadamente a lo largo de gradientes. En extremos lluviosos las especies vegetales suelen ser longevas, de tardía madurez sexual y tienden a reproducirse obligatoriamente por semilla. En cambio, hacia extremos de menor disponibilidad de agua dominan especies de vida corta y con adaptaciones particulares que le permiten reproducirse vegetativamente luego de fuego. Por ello, el intervalo de tiempo que debe transcurrir para que un sitio luego de fuego logre volver a propagar fuego, también será altamente variable a lo largo de gradientes.

La estructura de los combustibles define su dinámica de desecación y en definitiva de su propensión a la ignición y combustión frente a sequías de diferente intensidad (Rothermel, 1983). Será necesaria una sequía más intensa y prolongada para lograr la desecación de combustibles gruesos (por ej. ramas y raíces gruesas o troncos) que aquella que produce idénticos efectos sobre combustibles finos (por ej. hojas, ramas finas). Teniendo en cuenta que la estructura de combustibles tiende a variar de preponderantemente gruesa a fina del extremo húmedo al seco, se espera que solamente sequías extremas y prolongadas produzcan condiciones de desecación de combustible conductentes a la ignición y propagación del fuego en bosques húmedos. Por el contrario, en ambientes más secos con dominancia de combustibles

finos habrá ignición y propagación bajo condiciones climáticas que no se desvien significativamente de lo normal.

Las fuentes de ignición pueden cambiar de acuerdo a la geografía, topografía e historia de uso de la tierra. Si los gradientes son o fueron diferencialmente usados por grupos humanos es posible que las oportunidades de ignición hayan variado espacialmente. En el caso de igniciones naturales, si estas dependen del calentamiento del aire sobre zonas cálidas y la posterior formación de celdas por convección orográfica, serán los faldeos inferiores mas continentales los mas sujetos a ignición por rayos (Johnson et al., 1990).

El marcado gradiente O - E de precipitaciones y la concomitante sucesión espacial de comunidades vegetales que tiene lugar en el NO de la Patagonia es un escenario ideal para comprender cómo los factores sitio, clima e historia influyen sobre la ocurrencia y recurrencia de fuego. En este capítulo se revisa los conocimientos alcanzados hasta la fecha sobre historia de fuego, influencia de la variabilidad climática sobre la ocurrencia de fuego y respuesta post-fuego de ecosistemas basados sobre una variedad de metodologías.

2. Fisiografía, vegetación y clima

La topografía glaciaria se divide en: cordillera principal con picos de entre 2000 -3000 m, precordillera disectada en el sentido O - E por numerosos lagos y valles glaciarios y planicie Patagónica que generalmente comienza en las cabeceras E de dichos lagos o valles a altitudes de unos 800m. A latitudes medias (aprox. 40 °S) la Cordillera de los Andes produce un marcado efecto de sombra de lluvia sobre las masas humedad procedentes del Pacífico, desplazadas por el casi constante viento del Oeste. Así, sobre la divisoria continental, la precipitación media anual excede los 3000 mm mientras que hacia la planicie Patagónica la precipitación disminuye a menos de 800 mm en solo 100 km de distancia O-E (Barros et al. 1983). Paralelamente al abrupto cambio en la disponibilidad de agua, las comunidades vegetales se suceden desde bosque lluviosos templados con árboles de hasta 35 m de altura a la estepa patagónica dominada por herbáceas. Con precipitaciones mayores de 2500 mm se desarrollan bosques de *Nothofagus dombeyi* co-dominados por especies tolerantes de la selva Valdiviana como *Dasyphyllum diacanthoides* y *Saxegothea conspiciua*. Con precipitaciones de 2500 a 1500 mm

N. dombeyi aparece como bosques puro típicamente dominado en el sotobosque por la bambúsea *Chusquea*. En la faja de 1500 - 1100 mm este bosque paulatinamente pasa a ser codominado por la conífera *Austrocedrus chilensis*. Por debajo de los 1100 mm se desarrollan bosques puros de la conífera los cuales van haciéndose más dispersos dentro de una matriz de vegetación herbácea esteparia entre los 900 y 600 mm.

A lo largo de todo el gradiente sobre faldeos y valles de altitud intermedia (900 - 1100 m) se desarrollan matorrales que en sitios más húmedos son dominados por *Nothofagus antarctica* con cañaverales de *C. culeou*. Hacia el extremo más seco se compone de una variada flora arbustiva dominada por *Schinus patagonicus*, *Diostea juncea*, *Berberis buxifolia* y *Maytenus magellanica* entre otros. En altura (1100 - 1600 m), a lo largo de todo el gradiente dominan bosques de *Nothofagus pumilio* con diferente composición del sotobosque.

3. Papel ecológico del fuego en NO de Patagonia: breve reseña histórica

Los relatos de religiosos atestiguan la ocurrencia de fuego en la región Patagónica desde tiempos preeuropeos. En el siglo XVII, el Padre Mascardi describe grandes quemazones y densas humaredas relacionadas con la caza y movimiento de indígenas en zonas esteparias y de ecotono (Furlong, 1964). Hacia la zona de bosque, el Padre Menéndez en el siglo XVIII hace referencia a "árboles y cañas quemadas", "quemazones", "humaredas" y "monte ardiendo" (Fonck, 1896). Con el incremento la exploración de la región en el siglo XIX son numerosas las reseñas de ocurrencia de fuego en relación a la caza del guanaco (Cox, 1863; Musters, 1871; Fonck, 1896) y con posterioridad, para al mejoramiento de pasturas para la cría de ganado (Musters, 1871). Prácticamente todos los exploradores de las zonas de bosques (por ejemplo Juan Steffen, Fernando Hess y Francisco Fonck) observan quemazones extensas de bosques mésicos. Los incendios en estas zonas se atribuyen a la propagación de fuegos comúnmente encendidos como señales (Moreno, 1897), a la apertura de sendas para el comercio e intercambio de bienes con Chile (Bengoa, 1985) e incluso a la apertura de bosque para el cultivo (Furlong, 1964).

Hacia principios del siglo XX los primeros científicos dedicados al relevamiento proveen las primeras pautas del importante rol ecológico

del fuego en la región. Willis (1914) identifica extensas áreas de matorrales como posiblemente originados a partir de incendios antiguos. Rothkugel (1916) por su parte es pionero en descubrir y describir el carácter post-fuego de muchos rodales anteriormente considerados como "bosques vírgenes". Este autor atribuye la existencia de fuego en la región primariamente a colonos europeos y secundariamente a indígenas y la acción de rayos.

A pesar de que tan tempranamente se identifica al fuego como factor preponderante en la dinámica de estos ecosistemas, estudios posteriores paradójicamente ignoran su importancia. Así las aproximaciones ecológicas al estudio las comunidades andino-patagónicas entran en una fase más descriptiva y estática, características de la escuela fitosociológica dominante durante la primera mitad del siglo XX. Esta larga tradición de concebir a los ecosistemas dicotómicamente como prístinos o alterados y a los disturbios como catástrofes impredecibles e irreversibles prevaleció en los ambientes científicos y caló hondamente en la filosofía de manejo y conservación de áreas naturales. No es hasta principios de la década de los 1980' que, dentro de una concepción renovada de los ecosistemas sujetos a perturbaciones periódicas, el fuego vuelve a ser el eje de estudios de la dinámica de ecosistemas andino-patagónicos (Veblen y Lorenz, 1987; 1988; Rusch, 1989; Gobbi y Sancholuz, 1992; Burns, 1993; Dezotti, 1996; Kitzberger *et al.* 1997; Kitzberger y Veblen 1997; 1999; Raffaele y Veblen, 1998, Veblen *et al.*, 1992; 2000).

Paralelamente a estos estudios ecológicos, aproximaciones desde la paleoclimatología, principalmente basados en registros de polen y carbón fósil en sedimentos de mallines y lagos fueron en forma creciente sugiriendo la presencia continua de eventos de fuego en la región durante todo el holoceno (al menos 10.000 años AP; Heusser, 1987; 1994; Heusser *et al.*, 1988; Markgraf y Anderson, 1994). A pesar de la incertidumbre sobre el origen natural versus antrópico de estos fuegos, es claro que luego de la llegada de los primeros humanos a la Patagonia su frecuencia aumentó considerablemente (Heusser, 1987).

4. Variación espacial y temporal en la recurrencia de fuego

Una metodología que ha demostrado ser muy útil en la reconstrucción de historias de fuego en bosques templados es la dendroecología. El fuego, cuando afecta un rodal de

bosque produce importantes improntas que es posible reconstruir con precisión, gracias a que la mayoría de las especies leñosas produce anillos anuales. Las dos principales técnicas de reconstrucción de historias de fuego se basan en la datación de cicatrices de fuego sobre árboles sobrevivientes (McBride, 1983) y en la determinación del tiempo desde el último fuego en base las edades máximas de la cohorte post-fuego (Heinselman, 1973; Kitzberger et al. 2000a). Por medio de estas técnicas ha sido posible por primera vez reconstruir con resolución anual historias de fuego locales y regionales del NO de la Patagonia de más de 400 años (Kitzberger y Veblen 1997; Veblen et al. 2000). A continuación se presentan algunos patrones espaciales y temporales que surgen de dichos estudios.

Los estadísticos de recurrencia de fuegos que surgen de estudios basados en el fechado de cicatrices de fuego (Kitzberger, 1994) muestran un marcado contraste a lo largo del gradiente de precipitación. El bosque dominado por *Nothofagus* (>1200 mm de precipitación) muestra intervalos largos (aproximadamente 90 años entre fuegos), significativamente ($P < 0.05$) más largos en que los intervalos en los bosques abiertos dominados por *Austrocedrus chilensis* (900 mm de precipitación) en los que el fuego se repitió en promedio cada 30 años. Cabe aclarar que estos intervalos entre fuegos se computaron sobre la base de fuegos registrados sobre un mismo individuo, por lo que describen la recurrencia de fuego en un punto dado del paisaje (Kitzberger et al., 2000a). Estas diferencias se pueden explicar por la dinámica de acumulación de combustibles. Los bosques secos luego de un fuego, rápidamente acumulan combustibles finos por poseer especies con reproducción vegetativa, lo que determina fuegos más frecuentes y de menor intensidad. En los bosques húmedos en cambio la biomasa se reestablece en forma más lenta y las oportunidades de ignición y propagación son más escasas (por ejemplo sequías pronunciadas).

Las igniciones de origen antrópico han jugado un papel muy importante en la determinación de cambios espaciales y temporales en los regímenes de fuego. En la Figura 1 se muestran dos cronologías de fuego de zonas climáticamente contrastantes. En la Figura 1 a superior se muestran los eventos registrados por cicatrices en un bosque abierto de *Austrocedrus chilensis* con una precipitación de aproximadamente 800 mm anuales (Rahue, Prov. del Neuquén). En la inferior se muestran los eventos de fuego registrados en una zona de bosques mixtos de *N. dombeyi* y *A. chilensis* con precipitaciones en el orden de unos 1200 mm anuales (L. Hualá Hue, P.N. Nahuel Huapi). Ade-

más de las diferencias en la longitud de los intervalos antes nombrados se observan distintos patrones temporales. En el sitio más xérico los eventos de fuego se suceden en forma uniforme hasta fines del siglo XIX y luego virtualmente desaparecen. En cambio, en el sitio más mésico los siglos XVIII y XIX se caracterizan por una frecuencia intermedia-baja (intervalos relativamente largos). Hacia principios de siglo XX se producen numerosos eventos de fuego y luego la frecuencia de fuego cae abruptamente.

Las mismas tendencias temporales se observan en datos obtenidos a partir de la datación de edades máximas de las cohortes postfuego (Figura 2). En los gráficos semilogarítmicos del área porcentual acumulada de edades crecientes, se espera que si la frecuencia de fuego fuera constante en el tiempo, los puntos ajustarian a una recta de pendiente negativa (Van Wagner, 1978). Es claro que, tanto para la zona seca como para la zona húmeda la frecuencia de fuego varió sensiblemente. En la zona seca la frecuencia de fuego fue constante hasta que abruptamente cae (la curva se hace más horizontal) hacia fines del siglo XIX. En los bosques húmedos la frecuencia es constante hasta fines del siglo XVIII, luego hay un corto período de fuegos frecuentes y extensos (la curva tiende a hacerse vertical) y luego la frecuencia de fuego cae abruptamente (Figura 2).

Estos fuertes cambios temporales en el régimen se interpretan por los diferentes patrones de ocupación y uso del fuego que se han dado en la región en los últimos siglos. Hasta aproximadamente 1880 la porción xérica de región (precordillera y llanura patagónica) se encontraba densamente poblada por indígenas araucanos y tehuelches. Posiblemente la gran actividad de fuego durante este período se deba a su uso frecuente como herramienta de caza, guerra y comunicación. Se suma ello, el hecho de que el siglo XIX fue un período convulsionado en la región con grandes cambios culturales debidos a la expulsión de indígenas desde Chile a la Patagonia Argentina y la transculturización con el Euroargentino.

El período de dominio aborigen (y en consecuencia los fuegos frecuentes) concluye abruptamente con las campañas de Conquista del Desierto emprendidas por el ejército hacia 1880. Paralelamente, los bosques húmedos en períodos preeuropeos eran relativamente menos utilizados por los indígenas, salvo la zonas de pasos bajos que permitían la comunicación transandina y zonas lacustres donde se desarrollaban culturas de canoeros (Poyas). Este menor uso del bosque, implicó intervalos de fuego intermedios cercanos a los 100 años para los bosques subhúmedos de *N. dombeyi*. Hacia

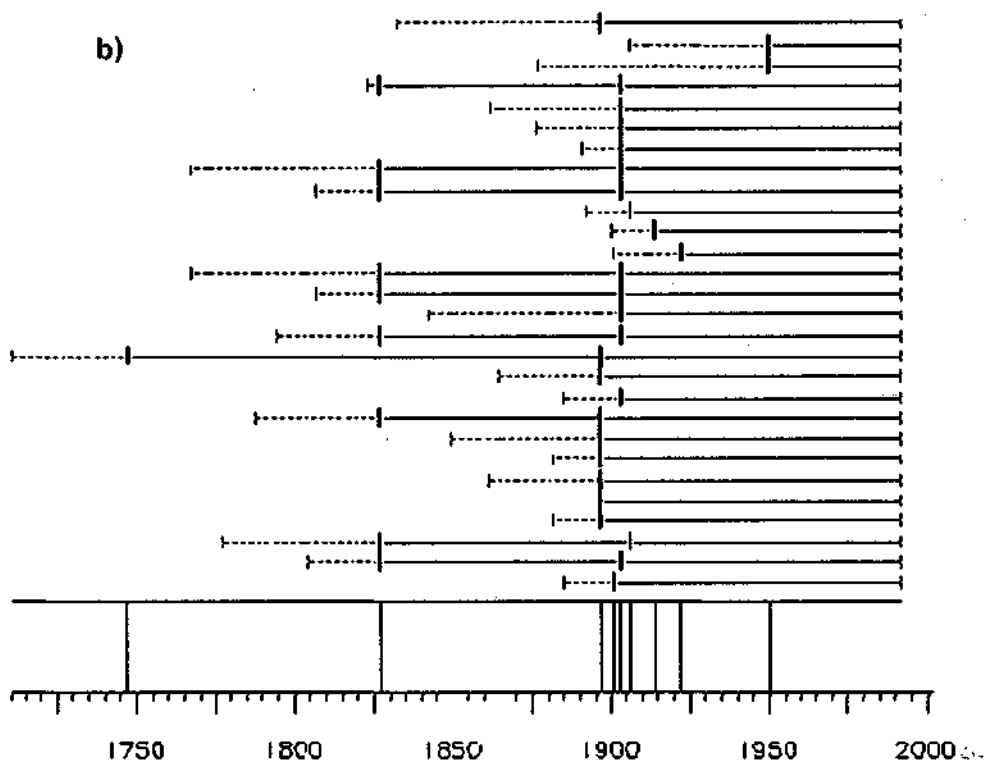
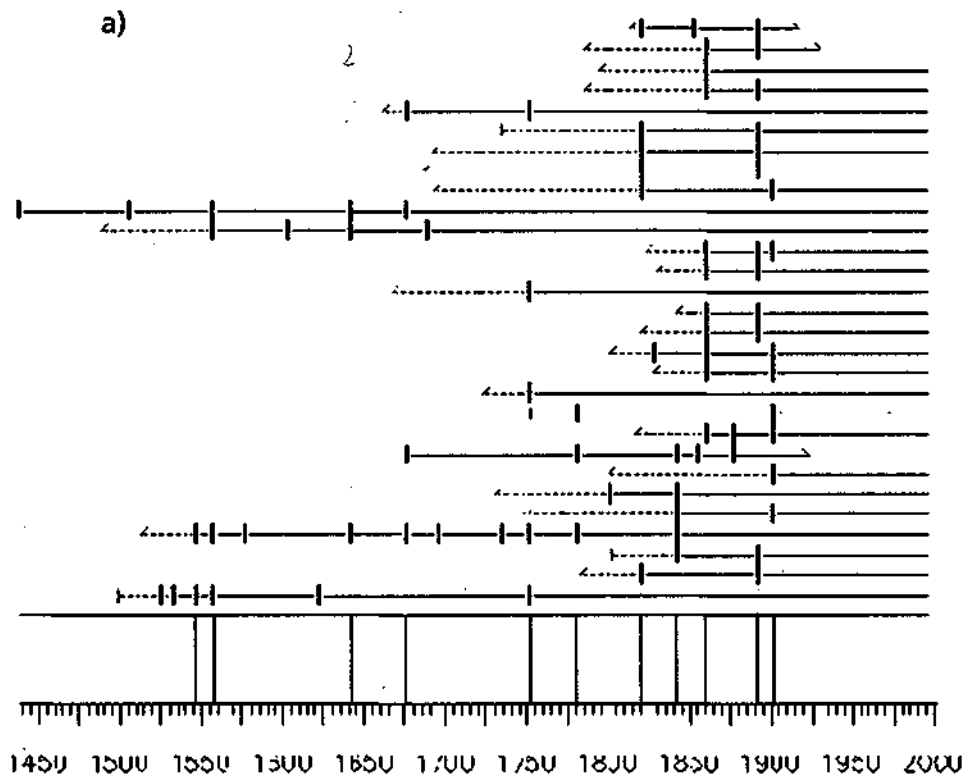


Figura 1. Cronologías de fuego basadas en el fechado de cicatrices de *Austrocedrus chilensis* en a) un bosque xerico cercano a Rahue, Prov. Neuquén precipitación media anual y b) bosque submesico de *Nothofagus dombeyi* y *Austrocedrus* en Laguna Huala Hue, P.N. Nahuel Huapi. Cada línea horizontal representa la cobertura temporal de un árbol y cada marca vertical una fecha de fuego. Las barras verticales en la base de cada figura representan la cronología compuesta de fuego.

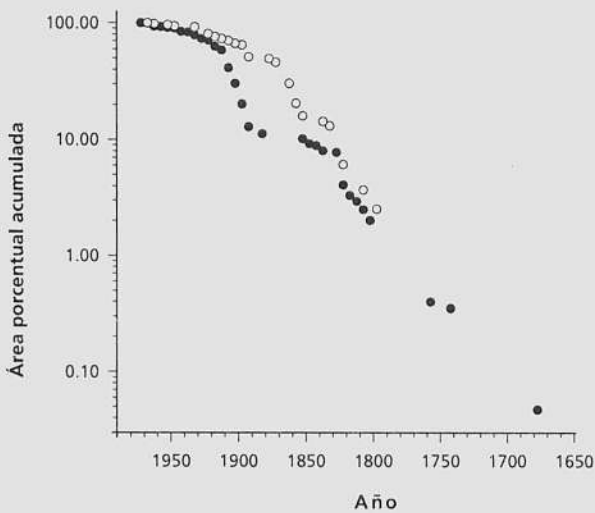


Figura 2. Distribución acumulada del área porcentual de parches postfuego de bosques mesícos de *Nothofagus dombeyi* (puntos sólidos) y bosques xéricos de *Austrocedrus chilensis* (puntos vacíos) a lo largo de un gradiente de precipitación en Lago Traful, P.N. Nahuel Huapi. Nótese que la pendiente de las líneas que son proporcionales a la frecuencia de fuego y quiebres indican cambios bruscos en el régimen de fuego.

fin del siglo XIX con posterioridad a la conquista, comienza un período de grandes cambios en el sector más húmedo.

La colonización Euroargentina y Chilena con una fuerte cultura agroganadera determinó un aumento repentino en la frecuencia y extensión de los incendios a causa de las enormes rozas provocadas con el fin de abrir tierras para pasturas. Este período se extiende unos 30 años. A partir de la década de 1920' comienza el período de supresión de fuego y posteriormente la creación de grandes áreas de conservación con los que el fuego se torna esporádico.

5. Control climático de fuego a lo largo de gradientes ambientales

La variabilidad climática interanual ejerce un fuerte influencia sobre la dinámica de desecación de los combustibles gruesos y la producción de combustible fino. En el NO de la Patagonia los veranos son relativamente secos debido a la influencia del Anticiclón del Pacífico Oriental que hacia la primavera migra al Sur y se intensifica bloqueando y desviando el flujo de humedad proveniente del Pacífico

(Schwerdtfeger, 1976). Sin embargo la intensidad y el momento de migración no son constantes entre años. Leves desviaciones latitudinales en la posición del anticiclón pueden repercutir en sensibles cambios en la precipitación del NO de la Patagonia (Pittock, 1980). En forma similar la intensificación y el desplazamiento al Sur del Anticiclón Atlántico puede intensificar el flujo meridional N-S sobre el sur de Sudamérica produciendo cambios interanuales en la temperatura e inestabilidad convectiva que puede afectar la frecuencia de rayos (Kitzberger y Veblen en prensa). Finalmente, anomalías climáticas en el Pacífico tropical (El Niño Oscilación Sur, ENSO) repercuten sobre el clima del NO de la Patagonia, estando la fase fría (La Niña) relacionada inviernos y primavera secas y la fase cálida (El Niño) a veranos cálidos y secos.

Es posible analizar las condiciones climáticas reconstruidas por técnicas dendroclimatológicas durante eventos de fuego reconstruidos por cicatrices. La Figura 3a muestra las condiciones climáticas medias (precipitación reconstruida de primavera-verano) durante el año de fuego, los 5 años anteriores y los 2 años posteriores al año de fuego. Se observa claramente que el año del evento de fuego tiende a desviarse negativamente de la media. En otras palabras, como es esperable los eventos de fuego se relacionaron con sequías pronunciadas durante el mismo año y el año anterior al evento. En contraposición, años que no mostraron cicatrices de fuego en las muestras tendieron a ser relativamente más lluviosos que la media (Figura 3b).

Cuando se particiona este análisis entre años de fuego en bosques mesícos vs. xéricos se observan diferencias en la sensibilidad climática. En bosques húmedos la ocurrencia de fuego se relaciona con años extraordinariamente secos con índices de disponibilidad hídrica muy inferiores a la media de largo plazo (Figura 3c). Fuegos en bosques más secos en cambio aparentan tener un control climático menos marcado durante el año de fuego (anomalías $<0.5 DS$) y se relacionan con años más lluviosos dos años antes que el año del evento (Figura 3d). Cuando se dividen los fuegos de zonas secas entre los que afectaron bosques de altura (principalmente *N. pumilio*; Figura 3e), y los que únicamente se restringieron a bosques bajos de *Austrocedrus* y estepa en los fondos de valle (Figura 3f), es claro que únicamente los fuegos que afectaron a bosques húmedos subalpinos se relacionaron con sequías extremas (bajos índices de disponibilidad hídrica; Figura 3e). En cambio, incendios de estepa se produjeron y propagaron independientemente de la condición climática reinante (es decir, los índices medios de disponibilidad hídrica no se apartan significativamente de la media de largo plazo; Figura 3f).

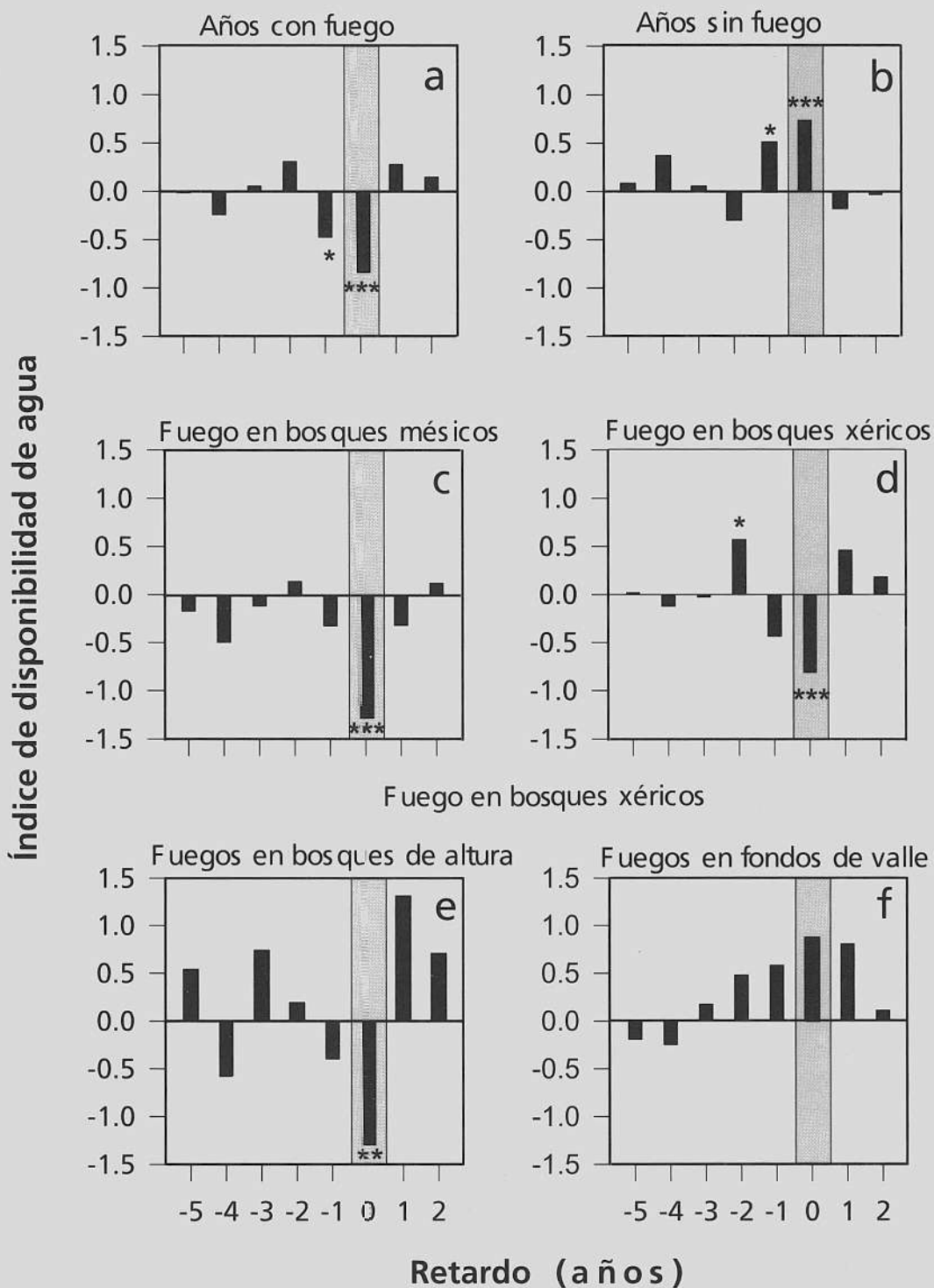


Figura 3. Índice medio de disponibilidad de agua basado en reconstrucciones dendroclimáticas durante (año 0), 5 años antes (-1 a -5) y dos años (1 y 2) después de los eventos de fuego para a) todos los años con registro de fuego (1820-1974), b) años sin registro de fuego, c) años con fuego en bosque dominado por *Nothofagus*, d) años con fuego tipos de vegetación xérica (bosques de *Austrocedus*, matorrales y estepa con *Austrocedus* aislados, e) años en los que el fuego sobrepasó los 950 m de altitud en tipos de vegetación xérica (principalmente bosques de *N. pumilio*) y f) años en los que el fuego no sobrepasó los 950 m de altitud. Los intervalos de confianza del 95, 99 y 99.9% fueron derivados en base a simulaciones de Monte Carlo e indican desviaciones significativas de la media de largo plazo (1820-1974) (* P < 0.05, ** P < 0.01, *** P < 0.001. Tamaños de muestras: 74 en (a), 81 in (b), 53 en (c), 21 in (d), 20 en (e) y 10 en (f). Datos de Kitzberger, Veblen & Villaba (1997).

En síntesis, bosques más húmedos ya sea por su localización más occidental dentro del gradiente O-E o por encontrarse en condiciones de menor demanda hídrica a mayor altitud poseen un marcado control climático durante el año del evento. Esto se debe a la predominancia de combustible gruesos de elevado contenido de humedad y alta inercia a la desecación que determinan que únicamente sequía extremas y prolongadas disminuyan la humedad de los combustibles por debajo de los umbrales necesarios para su ignición y combustión (Kitzberger et al., 1997).

El control climático disminuye en ecosistemas más xéricos en la medida que aumentan los combustibles finos que requieren de condiciones promedio para su desecación. Se agrega además en estos sistemas un efecto de retardo positivo posiblemente debido a que la abundancia de lluvias en años previos al evento favorece la producción y acumulación de combustibles finos (principalmente pastos). La baja cobertura vegetal en ecosistemas xéricos como la estepa Patagónica limita la propagación del fuego. Por ello, es condición necesaria una acumulación de combustibles inducida por exceso de lluvias que aumente la continuidad horizontal del combustible. Este efecto es obviamente inexistente en ecosistemas sin restricciones hídricas por poseer estos una continuidad de combustibles constante (Kitzberger et al., 1997).

La alternancia de períodos bianuales extremadamente húmedos y extremadamente secos parecen ser una receta ideal para existencia de alta frecuencia de fuego en la región. Es interesante que ENSO es un fenómeno oscilatorio global que cuyo período (2 - 6 años) coincide con los tiempos requeridos para los procesos de acumulación y desecación de combustibles antes nombrados. No sorprende entonces que la ocurrencia de fuego en el NO de la Patagonia así como en otras regiones sensibles a ENSO del mundo esté íntimamente ligada a este fenómeno climático (Swetnam y Betancourt, 1990; Leighton y Wirawan, 1996; Kitzberger y Veblen, 1997; Brown, 1998; Kitzberger, 2002). Mas aún, estudios recientes están encontrando una sincronía en la frecuencia de regional de fuego en distintos puntos del planeta aparentemente controlada por cambios de largo plazo (décadas a siglos) en la actividad (frecuencia de eventos y amplitud) de ENSO (Swetnam & Betancourt 1998; Kitzberger et al., 2001).

6. Tendencias recientes y perspectivas

6.1. Combustibles

Los bruscos cambios en el régimen de fuego que se dieron en los últimos siglos han dejado

una importante impronta en actuales los patrones de vegetación del NO de la Patagonia. En el borde ecotonal con la estepa, más de 100 años con virtual exclusión de los antes frecuentes fuegos, junto a una disminución en la carga ganadera produjo un importante aumento en la densidad de especies sensibles al fuego como por ejemplo *Austrocedrus chilensis*. El avance del bosque sobre la estepa (Veblen y Markgraf, 1988) y la tendencia regional de aumento en los tipos de vegetación dominados por especies arbóreas, a expensas de los tipos dominados por herbáceas y arbustivas, son procesos de largo plazo que han sido ampliamente documentados y cuantificados por medio de fuentes históricas y métodos dendroecológicos (Veblen y Lorenz 1997, 1988; Kitzberger y Veblen 1999; Veblen et al. en prensa).

En el bosque húmedo, en cambio, el pico de frecuencia de fuego relacionado a colonización indujo tres grandes patrones de vegetación observables a escala regional. A pesar de que el objetivo de las rozas por parte de los colonos era la apertura del bosque y el reemplazo por pasturas, las características colonizadoras de las especies arbóreas y las cargas ganaderas insuficientes para inhibir la regeneración (Veblen et al., 1992a) produjeron, en la mayor parte de los grandes incendios, una masiva regeneración de especies arbóreas. Esto ha dado lugar a lo que hoy son inmensas extensiones de rodales coetáneos de aproximadamente 100 años de edad con abundante autoraleo y por ende altas cargas de combustibles seco (Veblen et al., 1992b).

El segundo patrón, que emerge de los grandes fuegos del principios de siglo, está representado por los bordes netos entre matorrales de ladera media y bosques subalpinos de *N. pumilio*. Estos bordes son posiblemente el producto de la propagación de fuegos intensos dentro de estos bosques, que dejaron poca cobertura y semilleros, y la subsiguiente falta de regeneración de *N. pumilio* a expensas de la invasión de especies herbáceas y arbustivas (Rusch, 1989; Kitzberger et al., en preparación). El tercer patrón observable es el caso de matorrales de especies rebrotantes que dependen del fuego para su renovación vegetativa. La virtual ausencia de fuego por más de 80 años indujo un patrón regional de senescencia de cohortes con mortalidad parcial de copa (Veblen y Lorenz, 1988).

En síntesis los cambios en la frecuencia de fuego generaron importantes variaciones de vegetación y combustible a escala regional. Las cargas de combustibles gruesos y posiblemente la continuidad de combustibles finos aumentaron en el extremo xérico. En los bosques húmedos montañosos (<1000 m) se produjo un impor-

tante reemplazo de bosque maduros por bosques coetáneos posiblemente de mayor inflamabilidad por sus estadios de autoraleo. En laderas medias los matorrales aumentaron sus cargas de combustible, principalmente de material seco por muerte de copas. En altura se produjo un reemplazo de ecosistemas relativamente inflamables (bosques de *N. pumilio*) por matorrales más inflamables.

Todos estos cambios en la calidad, cantidad y distribución de combustibles confluyen a predecir una tendencia a regímenes de fuego más extensos e intensos en la región. Los recientes episodios de fuegos extremos de los años 1996 y 1999 son quizás los primeros indicios de este cambio de tendencia.

6.2. Igniciones

De 722 causas de ignición reportadas entre 1938 y 1996 en cuatro parques nacionales del NO de la Patagonia el 91% se debieron a causa antrópicas y el 9% a rayos (Bruno y Martín, 1982, Delegación Técnica Regional Patagonia, datos no publicados). A pesar de los crecientes esfuerzos de supresión la cantidad de igniciones cercanas a centros poblados se incrementó marcadamente y no así el área anual quemada (Novara, 1999). Es predecible que, en la medida que aumente la densidad poblacional, el nivel de acceso las probabilidades de ignición aumenten consecuentemente.

A pesar de que gran parte de las igniciones se dan por causas naturales, los incendios por rayos en los cuatro parques antes mencionados representaron el 16,4% del área afectada rayos (Bruno y Martín, 1982, Delegación Técnica Regional Patagonia, datos no publicados). Esto sugiere que la incidencia de rayos coincide con condiciones que favorecen la propagación. Ante los escasos eventos de tormentas eléctricas que se dan en una temporada, las probabilidades de ignición exitosa son relativamente altas debido a la coincidencia con el períodos de mayor desecación del combustible. De hecho eventos de tormentas eléctricas han iniciado incendios sobre distancias mayores que 100 Km. (Kitzberger y Veblen, en prensa).

La incidencia de tormentas eléctricas e incendios iniciados por rayos en la región está relacionada a veranos cálidos. Un análisis de los eventos iniciados por rayos en los cuatro parques nacionales indica que el número de igniciones aumentó exponencialmente con el incremento en la temperatura de verano (Figura 4). Las altas temperaturas son el producto de la influencia de masas de aire del NE que, luego de calentarse sobre las llanuras ascienden sobre las laderas precordilleranas produciéndose celdas de inestabilidad atmosférica (Komarek 1966). Este flujo meridional es promovido por

un centro de alta presión localizado sobre el Atlántico sur, el cual a su vez ejerce el bloqueo de los vientos oeste procedentes de las latitudes medias de Sudamérica. Por este motivo hay una correlación entre condiciones desecantes para los combustibles y condiciones que predisponen las tormentas convectivas en la región (Kitzberger y Veblen, en prensa).

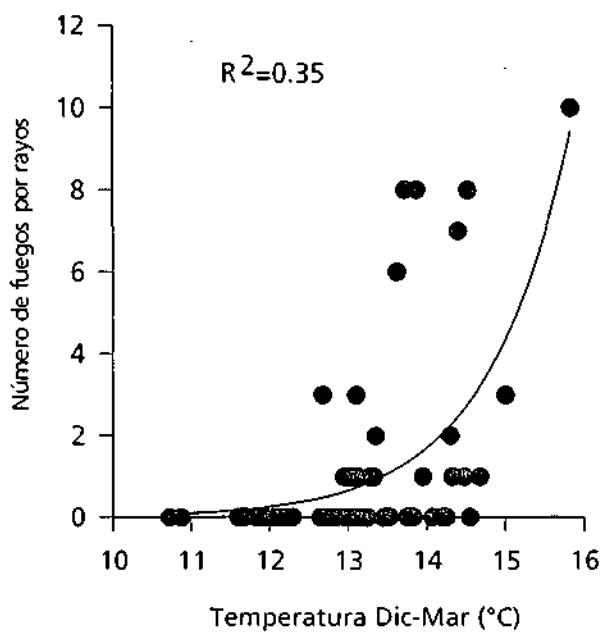


Figura 4. Número de igniciones por rayo por año en los parques Lanín, Nahuel Huapi, Lago Puelo y Los Alerces National entre 1938 and 2002 (Bruno y Martín, 1982; Administración de Parques Nacionales unpubl. data) en función de la temperatura media de verano (Diciembre-Marzo; Estación Meteorológica Aeropuerto Bariloche).

Acompañando tendencias climáticas globales, los datos meteorológicos del NO de la Patagonia indican que, en la segunda mitad del siglo XX se ha dado una tendencia de aumento en las temperaturas de verano (Figura 5). Es particularmente notorio el salto en las temperaturas que se da a partir de 1977 en los registros locales y en muchos otros registros climáticos a escala global. En el NO de la Patagonia se observa que paralelamente al aumento en las temperaturas medias de verano se produjo un incremento en el número de igniciones por rayo de un valor de 5 - 10 igniciones por década para el período 1950 - 1977 a 25 - 30 igniciones por década para el período 1978 - 2002 (Figura 5). Esta tendencia aún no se observa en el número de hectáreas totales quemadas por año.

En síntesis tanto tendencias climáticas, demográficas, como las de uso de las áreas naturales indican un aumento en las probabilidad-

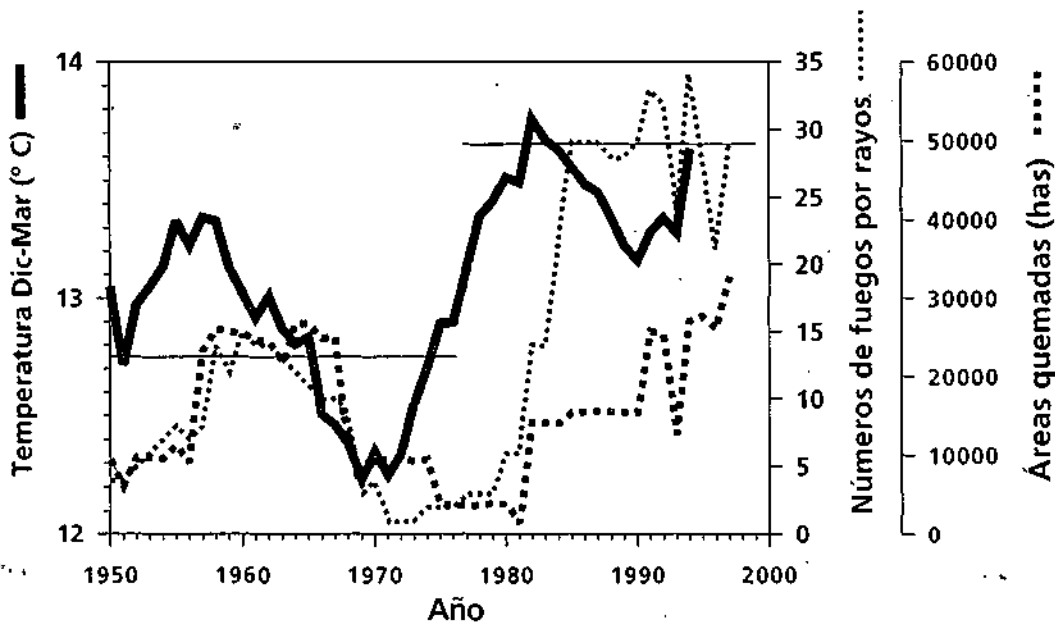


Figura 5. Media móvil de 11 años del número de igniciones por rayo (punteado) y área quemada (línea quebrada) reportados en los parques nacionales Lanín, Nahuel Huapi, Lago Puelo y Los Alerces entre 1945-2002 (Bruno and Martin 1982; Administración de Parques Nacionales data no publicados). En línea continua se muestra la media móvil (11 años) de la temperatura de verano en la Estación Meteorológica Aeropuerto Bariloche. Las líneas horizontales indican las temperaturas medias de largo plazo para los periodos 1945-1977 y 1978-1999.

des de ignición. Considerando que estos eventos muchas veces coinciden con sequías pronunciadas se produciría un consiguiente aumento en la frecuencia de eventos de fuego comparado con el período de baja frecuencia que caracterizó gran parte del siglo XX.

7. Consideraciones finales

El presente capítulo ofrece evidencia histórica y empírica que permite aseverar que el fuego ha sido durante mucho tiempo un componente de los ecosistemas del NO de la Patagonia. La evidencia presentada echa definitivamente por tierra la visión de bosques prístinos y al fuego como un evento catastrófico recientemente incorporado por el hombre. Hasta en los bosques húmedos más impenetrables dentro de la cordillera se encuentran evidencias de fuegos pasados. Tal es el caso de bosques de *Nothofagus-Fitzroya* donde se han encontrado numerosas cicatrices de fuego de hasta 1000 años de antigüedad (Kitzberger *et al.*, 2000b).

La marcada heterogeneidad causada por fuertes gradientes ambientales hace que su recurrencia y el papel ecológico que cumple varíen con los ecosistemas. Es por ello equivocado definir una única política de manejo del fue-

go para toda la región sino que es necesario tener en cuenta para cada ecosistema los factores que predisponen y desencadenan el fuego, así como las consecuencias ecológicas de largo plazo de un determinado régimen. Por ejemplo, la mitigación de fuego a través de quemas prescriptas puede ser apropiada en ecosistemas con una clara discontinuidad entre estrato herbáceo y dosel (por ejemplo en plantaciones de pináceas) y en cambio sería una práctica muy poco apropiada en sistemas de matorral o bosque con fuerte autoraleo donde existen altas cargas combustibles con marcada continuidad vertical.

Del mismo modo los índices de peligrosidad son función de los ecosistemas. Un índice de peligrosidad de incendio alto para la estepa no necesariamente lo es para un bosque húmedo. También los riesgos ecológicos de diferentes áreas con distintas resiliencias al fuego deberían ser estratificados. Así un fuego declarado en un área de gran sensibilidad al fuego como por ejemplo un bosque xérico de *N. pumilio* debería concentrar más esfuerzos de supresión que fuegos declarados en áreas de estepa o bosque de *N. dombeyi* donde la regeneración se encuentra asegurada.

Un segundo corolario que emerge de los conocimientos sobre historias de fuego alcanzados a la fecha es que los paisajes actuales poseen importantes improntas de regímenes de fuego pasados. Un siglo de exclusión de fuego

en el ecotono bosque estepa y 30 años de fuego extenso seguidos por 80 años de supresión generaron paisajes donde predomina una alta conectividad de parches altamente inflamables (Kitzberger y Veblen, 1999) con alto potencial de propagación (Turner et al., 1989).

Finalmente, considerando los paisajes actuales dentro de escenarios climáticos donde los fe-

nómenos de variabilidad climática interanual (como ENSO) se mantengan o posiblemente incrementen su actividad y tendencias al calentamiento que se sostengan en el tiempo es posible que rápidamente el NO de la Patagonia cambie de un régimen de baja frecuencia a un nuevo régimen de mayor recurrencia de eventos de magnitud e intensidad extremas.

8. Bibliografía

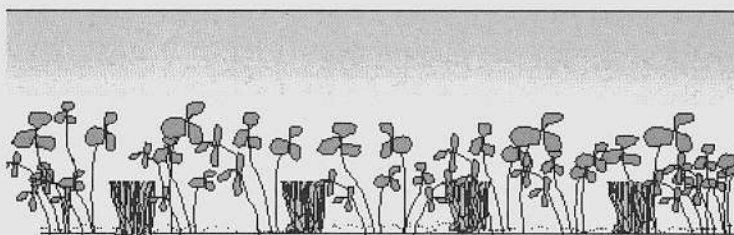
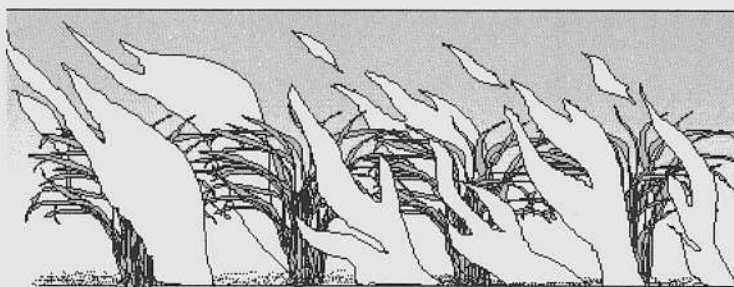
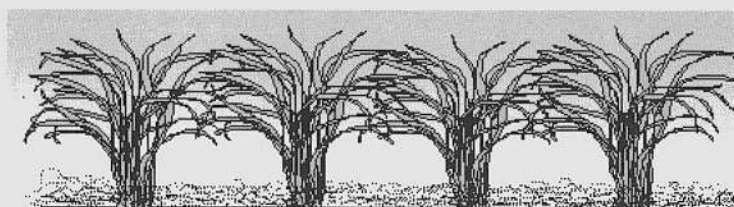
- Barros V., Cordon V., Moyano C., Méndez R., Forquera J. y O. Pizzio. 1983. Cartas de precipitación de la zona oeste de las provincias de Río Negro y Neuquén. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, Cinco Saltos, Neuquén.
- Bengoa J. 1985. Historia del Pueblo Mapuche (Siglo XIX y XX). Ediciones Sur, Santiago.
- Brown N. 1998. Out of control: fires and forestry in Indonesia. TREE 13: 41.
- Bruno J. y G. Martin. 1982. Los incendios forestales en los Parques Nacionales. Informe Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires.
- Burns B. 1993. Fire-induced dynamics of *Araucaria araucana* - *Nothofagus antarctica* forest in the southern Andes. Journal of Biogeography 20: 669-685.
- Christensen N. 1988. Succession and Natural Disturbance: Paradigms, Problems, and Preservation of Natural Ecosystems. Ecosystem Management for Parks and Wilderness (eds. J.K. Agee & D.R. Johnson), pp. 62-86. University of Washington Press, Seattle.
- Cox G. 1863. Viajes a las regiones septentrionales de Patagonia 1862-1863. Anales de la Universidad de Chile 23:3-239 y 437-509.
- Dezzotti A. 1996. *Austrocedrus chilensis* and *Nothofagus dombeyi* stand development during secondary succession in northwestern Patagonia, Argentina. Forest Ecology and Management 89: 125-137.
- Fonck F. 1896. Libro de los diarios de Fray Francisco Menéndez. C.F. Niemeyer, Valparaíso, Chile.
- Furlong G. 1964. Nicolás Mascardi, S.J. y su carta relación (1670). Ediciones Theoria, Buenos Aires, Argentina.
- Gobbi M. y L. Sancholuz. 1992. Regeneración post-incendio del ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) en los primeros años. Bosque 13:25-32.
- Harmo M., S. Bratton y P. White. 1983. Disturbance and vegetation response in relation to environmental gradients in Great Smoky Mountains. Vegetatio 5: 129-139.
- Heinselman M. 1973. Fire in the virgin forest of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. Quaternary Research 3: 329-82.
- Heusser C. 1987. Fire history of Fuego-Patagonia. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula 5:93-109.
- Heusser C. 1994. Paleoclimates and fire during the late Quaternary in southern South America. Revista Chilena de Historia Natural 67: 435-442.
- Heusser C., J. Rabassa, A. Brandani y R. Stuckenrath. 1988. Late-holocene vegetation of the andean *Araucaria* region, Province of Neuquén, Argentina. Mountain Research and Development 8: 53-63.
- Johnson E., G. Fryer y M. Heathcott. 1990. The influence of man and climate on the fire frequency in the Interior Wet Belt Forest, British Columbia. Journal of Ecology 78: 403-412.
- Kitzberger T. 1994. Fire regime variation along a northern Patagonian forest-steppe ecotone: stand and landscape response. Tesis de PhD. University of Colorado, Boulder.
- Kitzberger T. 2002. ENSO as a forewarning tool of regional fire occurrence in northern Patagonia, Argentina. International Journal of Wildland Fire 11:33-39.
- Kitzberger T., A. Pérez, G. Iglesias, A. Premoli y T. Veblen. 2000a. Distribución y estado de conservación del alerce (*Fitzroya cupressoides* (Mol.) Johnst.) en Argentina. Bosque 21: 79-89.

- Kitzberger T. y T. Veblen. 1997. Influences of humans and ENSO on fire history of *Austrocedrus chilensis* woodlands in northern Patagonia, Argentina. *Ecoscience* 4:508-520.
- Kitzberger T. y T. Veblen. 1999. Fire-induced changes in northern Patagonian landscapes. *Landscape Ecology* 14: 1-15. -
- Kitzberger T. y T. Veblen (en prensa) Influences of Climate on Fire in Northern Patagonia, Argentina. En: T.W. Swetnam, G. Montenegro & T.T. Veblen, (Eds.) *Fire Regimes and Climatic Change in Temperate and Boreal Ecosystems of the Western Americas*. Springer, New York.
- Kitzberger T., T. Veblen y R. Villalba. 1997. Climatic influences on fire regimes along a rainforest-to-xeric woodland gradient in northern Patagonia, Argentina. *Journal of Biogeography* 23:35-47.
- Kitzberger T., T. Veblen y R. Villalba. 2000b. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. Pp 17-78 En: F. Roig (ed.) *Dendrocronología en América Latina*. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.
- Kitzberger T., T. Swetnam y T. Veblen. 2001. Inter-hemispheric synchrony of forest fires and the El Niño-Southern Oscillation. *Global Ecology and Biogeography* 10:315-326.
- Komarek E. 1966. The meteorological basis for fire ecology. Proceeding of the fifth Tall Timbers Fire Ecology Conference. Tallahassee, Florida.
- Leighton M. y Wirawan N. 1986. Catastrophic drought and fire in Borneo tropical rain forest associated with the 1982 - 1983 El Niño Oscillation event, in *Tropical Rain Forest and the World Atmosphere* (ed. Prance, G.T.), pp. 75-102. Westview Press, Boulder.
- Markgraf V. y L. Anderson. 1994. Fire history of Patagonia: Climate versus human cause. *Revista do Instituto Geográfico do São Paulo* 15:35-47.
- McBride. 1983. Analysis of tree rings and fire scars to establish fire history. *Tree Ring Bulletin* 43: 51-57.
- Moreno F. 1897. Reconocimiento de la región andina de la República Argentina. Apuntes preliminares sobre una excursión a los territorios de Neuquén, Río Negro, Chubut y Santa Cruz. *Rev. del Museo de La Plata* 8: 1-180.
- Musters G. 1871. At home with Patagonians: a year's wandering over untrodden ground from the straits of Magellan to the Río Negro. John Murray, London, England.
- Novara M. 1999. Ecosistemas pulsados por el disturbio fuego, el caso del bosque Andino-Patagónico en el Parque Nacional Nahuel Huapi. Monografía. Departamento de Geografía, Universidad de Buenos Aires. 29 pp.
- Pittock A. 1980. Patterns of climatic variation in Argentina and Chile. I. Precipitation, 1931-60. *Monthly Weather Review* 108:1347-1361.
- Raffaele E. y T. Veblen. 1998. Facilitation by nurse shrubs on resprouting behavior in a postfire regeneration of matorral in northwest Patagonia, Argentina. *Journal of Vegetation Science* 9: 693-698.
- Rothermel R. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. U.S.D.A. Forest Service General Technical Report INT-143.
- Rothkugel M. 1916. Los Bosques Patagónicos. Ministerio de Agricultura, Buenos Aires, Argentina.
- Rusch V. 1989. Determinación de las transiciones de estado en bosques de lenga. Informe CONICET, Buenos Aires. 44pp.
- Schwerdtfeger W. 1976. Introduction. *World Survey of Climatology* (ed W. Schwerdtfeger), pp. 1-12. Elsevier, New York.
- Swetnam T. y J. Betancourt. 1990. Fire-southern oscillation relations in the southwestern United States. *Science* 249: 1017-1020.
- Swetnam T. y J. Betancourt. 1998. Mesoscale disturbance and ecological response to decadal climatic variability in the American Southwest. *Journal of Climate* 11: 3128-3147.
- Turner M., R. Gardner, V. Dale y R. O'Neill. 1989. Predicting the spread of disturbance across heterogeneous landscapes. *Oikos* 55: 121-129.
- Van Wagner C. 1978. Age-class distribution and the forest cycle. *Canadian Journal of Forest Research* 8: 220-227.
- Veblen T. y D. Lorenz. 1987. Post-fire stand development of *Austrocedrus-Nothofagus* forests in Patagonia. *Vegetatio* 73:113-126.
- Veblen T. y D. Lorenz. 1988. Recent vegetation changes along the forest/steppe ecotone in northern Patagonia. *Annals of the Association of American Geographers* 78: 93-111.
- Veblen T., T. Kitzberger y A. Lara. 1992a. Disturbance and forest dynamics along a transect from Andean rain forest to Patagonian shrubland. *Journal of Vegetation Science* 3: 507-520.

- Veblen T., T. Kitzberger, R. Villalba y J. Donnegan, 1999. Fire history in northern Patagonia: the roles of humans and climatic variation. *Ecological Monographs* 69: 7-67.
- Veblen T., T. Kitzberger y J. Donnegan. 2000. Climatic and human influences on fire regimes in Ponderosa pine forests in the Colorado Front Range. *Ecological Applications* 10: 1178-1195.
- Veblen T., T. Kitzberger, E. Raffaele y D. Lorenz. (en prensa): Fire history and vegetation changes in northern Patagonia, Argentina. En: T. Veblen, W. Baker, G. Montenegro y Swetnam (Eds.) *Fire and Climatic Changes in Temperate Ecosystems of the Western Americas*. Springer, New York.
- Veblen T. y Markgraf. 1988. Steppe expansion in Patagonia? *Quaternary Research* 30: 331-338.
- Veblen T., M. Mermoz, C. Martin y T. Kitzberger. 1999. Ecological impacts of introduced animals in Nahuel Huapi National Park, Argentina. *Conservation Biology* 6: 71-83.
- Willi B. 1914. *El Norte de la Patagonia*. Dirección de Parques Nacionales, Buenos Aires, Argentina.

Desde el Paspaletum: bases ecológicas para el manejo de pajonales húmedos con quemas prescriptas

Pedro Laterra¹



Ciclo de fuego en *El Paspaletum* Figuras: Pedro Laterra

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata EEA Balcarce, INTA.
e-mail: platterra@balcarce.inta.gov.ar

1. Introducción: fuego y pajonales

El fuego y el pastoreo constituyen dos tipos de disturbios estrechamente vinculados a la historia evolutiva, la organización y la dinámica sucesional de pastizales. Debido a que la disponibilidad de biomasa combustible disminuye con la frecuencia e intensidad de pastoreo, actualmente, la mayor incidencia del fuego se verifica en pastizales donde la productividad primaria anual es relativamente alta, a pesar de la cual los herbívoros presentan una baja eficiencia de cosecha. En este tipo de pastizales, la fuerte estacionalidad y/o la baja palatabilidad de la oferta forrajera determinan la formación de grandes acumulaciones de biomasa, haciéndolos proclives a incendios periódicos u ocasionales, espontáneos o provocados por el hombre (pastizales "pirogénicos").

Los pastizales pirogénicos se destacan por un gran desarrollo en altura, con dominancia de una o unas pocas especies de gramíneas perennes y una baja riqueza de especies acompañantes, capaces de mantener el suelo cubierto durante todo el año con una alta proporción de biomasa seca en pie. Esa descripción ajusta a lo que Morello y Adámoli (1968) han definido como "pajonales" para la región Chaqueña argentina. Sin embargo, pastizales con fisonomía de pajonal y alta afinidad por el fuego se encuentran en distintas regiones de nuestro país y el resto del mundo, donde las gramíneas dominantes generalmente forman grandes matas o "tussocks" (Tabla 1).

Este capítulo tiene como objetivo discutir la influencia del fuego sobre algunos procesos ecológicos relevantes para el uso y conservación de pajonales, con énfasis en aquellos que se de-

sarrollan en ambientes de alta pluviometría y productividad potencial ("pajonales húmedos"). Para ello se recurrirá al análisis de un caso particular, el *Paspaleum* de la Pampa Deprimida (Vervoorst 1967), y a su comparación con otros pastizales de estructura similar o contrastante. En primera instancia, se realizará una breve descripción fisonómica del *Paspaleum* y la incidencia histórica del fuego sobre su manejo, luego se discutirá el modo en que la fisonomía de los pajonales en general, y del *Paspaleum* en particular, condicionan el funcionamiento del ecosistema en términos de su productividad primaria y sus regímenes de fuego y pastoreo. En

Tabla 1. Algunos pajonales de Argentina y del resto del mundo.

Denominación	Especie/s dominantes/s	Ubicación geográfica	Fuentes
Pajonal de paja de techar	<i>Panicum prionitis</i>	Chaco	Morello y Adámoli 1974
Pajonal de paja boba	<i>Paspalum intermedium</i>	Chaco	Cabrera 1976
Pastizal de matas altas	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	Salta	Falce 1977
Sorgastral	<i>Sorghastrum pellitum</i>	San Luis	Anderson 1979; Aguilera y col. 1998
Espartillares	<i>Spartina</i> spp	Santa Fé, Buenos Aires	Lewis y col. 1985; Vervoorst 1967
Pajonales de cola de zorro y paja amarilla	<i>Schizachyrium paniculatum</i> y <i>Sorghastrum agrostoides</i>	Corrientes	Vallejos 1989
Aibal	<i>Elyonorus muticus</i>	Corrientes, Santiago del Estero	Pizzio et al. 1993; Renolfi 1993
Pajonal de paja colorada	<i>Andropogon lateralis</i> y <i>Paspalum notatum</i>	Corrientes	Pizzio y Royo Payarés 1994
Pajonal de paja colorada / <i>Paspaleum</i>	<i>Paspalum dilatatum</i> y <i>P. quadrifarium</i>	Pampa Deprimida / Pampa Austral	Vervoorst 1967
Páramo	<i>Calamagrostis</i> spp.	Ecuador	Ramsay & Oxley 1996
Pastizales alpinos de tussocks altos	<i>Chionochloa</i> spp.	Otago, Nueva Zelanda	Allen y Partridge 1988; Mark 1994
Pradera de pastos altos	<i>Andropogon gerardii</i>	Centro de EUA	Collins y Wallace 1990
Pastizales de pastos altos	<i>Themeda triandra</i>	Australia, Sudáfrica	Lunt 1990; O'Connor y Bredenkamp 1997
Pantanos	<i>Juncus roemerianus</i> y <i>Spartina bakeri</i>	Florida, EUA	Schmalzer y col. 1991

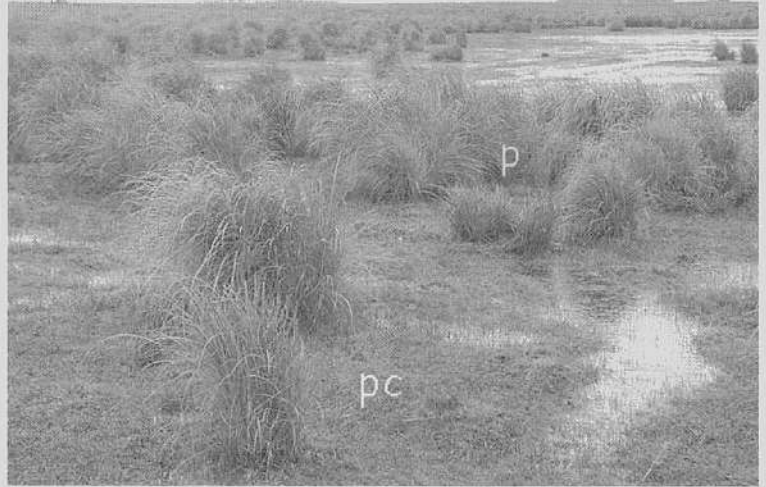
tercer término, se considerarán los mecanismos de dominancia y regeneración de las especies más representativas del pajonal frente al fuego, y seguidamente la susceptibilidad de los pajonales quemados a la colonización por otras especies. Finalmente, se considerará el modo en que el fuego, en interacción con otros factores, influye sobre la dinámica del pajonal a escala de tiempo sucesional y las implicancias de ésta sobre la aptitud de esa comunidad para proveer distintos tipos de servicios.

2. El *Paspaleto* de la Pampa Deprimida

Los pajonales de paja colorada o *Paspaleto* constituyen un tipo de pastizal de la Pampa Deprimida, caracterizado por la abundancia de *Paspalum quadrifarium* y/o *P. exaltatum* (Voorvoort 1967; Alonso et al. 1995), dos especies de gramíneas nativas, perennes, que si bien concentran su actividad vegetativa en el período estivo-otoñal son capaces de mantener altas acumulaciones de biomasa en pie durante todo el año. Las plantas adultas de ambas especies poseen una morfología y arquitectura muy similar, desarrollado matas con largas hojas fasciculadas. Los pajonales poco disturbados ("maduros") se caracterizan por altos y densos canopeos de aproximadamente 1,5 m, con inflorescencias que llegan hasta los 2 m de altura, alta dominancia de una o ambas especies de *Paspalum*, un alto porcentaje de biomasa muerta en pie, una gruesa y densa capa de materia vegetal muerta sobre la superficie del suelo (broza) y una producción primaria marcadamente estacional (Latterra et al., 1994; 1998) (Figura 1).

Si bien es posible encontrar grandes potreros casi completamente dominados por paja colorada, comúnmente, el *Paspaleto* posee una estructura espacial en mosaico, con dos fases de vegetación bien diferenciadas: a) manchones

a)



b)



Figura 1. Pajonales co-dominados por *Paspalum quadrifarium* y *P. exaltatum* (*Paspaleto*, Voorvoort 1967) en la Pampa Deprimida (Prov. De Buenos Aires), normalmente sujetos a períodos de anegamiento (a) y quemaduras recurrentes (b). Nótese el fuerte contraste fisonómico existente entre la fase pajonal (p) y la matriz de pastos cortos (pc).

dominados por *P. quadrifarium* y/o *P. exaltatum* ("fase pajonal"), y b) una matriz con mayor diversidad de especies en las que predominan gramíneas rizomatosas y dicotiledóneas planófilas ("matriz de pastos cortos"). Ese patrón de distribución normalmente propicia la yuxtaposición de distintas historias de fuego y pastoreo a escala de potrero y, por consiguiente, un alto grado de heterogeneidad estructural (Figuras 1 y 2).

Aunque en su estado maduro, la fase pajonal se caracteriza por casi un 100% de cobertura de una o ambas especies de *Paspalum*, el área basal de las matas de esas especies sólo representa entre un 20 – 30 % de la superficie del suelo (Latterra

et al., 1994). En ese mismo estado, la superficie del suelo libre del área basal de las matas ("inter-matas"), se encuentra cubierta por una espesa capa de material vegetal muerto ("broza"), sólo interrumpida por la presencia de unas pocas especies capaces de aprovechar condiciones lumínicas más favorables en algunos claros del canopy (por ejemplo, *Eryngium eburneum*, *Bromus auleticus*, *Cirsium vulgare*, *Solanum commersonii*).

El ganado vacuno posee muy baja preferencia por la fase pajonal en su estado maduro, por lo que tradicionalmente se la quema en invierno o primavera a fin de incrementar la receptividad ganadera (Cauhépé, 1990). Si bien el uso tradicional del fuego para el manejo de pajonales al sur del río Salado se remonta por lo menos a mediados del siglo XIX, época en la cual se produjo la colonización de esa región por los europeos (Azara, 1998; Darwin, 1997), su estudio y divulgación como herramienta de manejo son muy recientes (Cauhépé y Laterra, 1998).

3. Fuego, productividad primaria y calidad forrajera

Tras revisar los resultados de 65 quemas experimentales, casi todas realizadas en pastizales de América del Norte, Oesterheld et al. (1999) concluyeron que el efecto del fuego sobre la productividad primaria neta aérea varía fuertemente con la precipitación media anual (Fig. 3). Mientras que la quema de pastizales semiáridos genera una reducción relativa de su productividad, la producción de pastizales que reciben mayores precipitaciones (pastizales húmedos) resulta fuertemente estimulada por el fuego. Ese es el caso de la pradera de pastos altos estudiada por Oesterheld et al. (1999). y, en forma aún más marcada, el de un pajonal de paja colorada próximo a Ayacucho (Prov. Buenos Aires) (Sakalauskas et al., 2001).

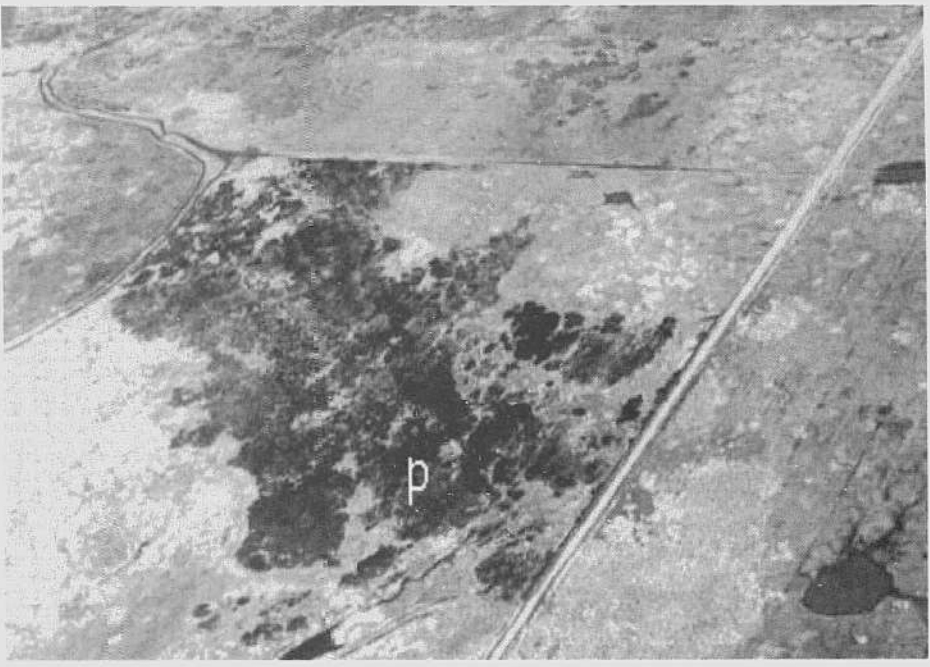


Figura 2. Fotografía aérea de un pastizal natural del Partido de Rauch (Prov. De Buenos Aires), donde puede apreciarse la heterogeneidad espacial de historias de quema, asociada al típico mosaicismo del Paspaleto. Los manchones más oscuros corresponden a la fase pajonal (p) recientemente quemada, los manchones más claros corresponden a la fase pajonal con mayor acumulación de biomasa aérea seca en pie, y la matriz de tono intermedio, corresponde a la fase de pastos (pc) cortos normalmente incombustible.

Dentro de los pastizales húmedos, la variación en los efectos del fuego sobre la productividad es mucho mayor que dentro de los pastizales semiáridos (Fig. 3) e independiente del gradiente de precipitaciones (Oesterheld, op. cit.). Entre los distintos factores que pueden intervenir en esa amplitud de respuestas, cabe destacar las características funcionales de las especies dominantes. Por ejemplo, distintos estados de un mismo pastizal cuyas especies dominantes difieren en contenido proteico y degradabilidad de sus tejidos senescentes pueden condicionar distintos niveles de productividad y respuesta a los disturbios (Tilman y Wedin, 1991).

Muchos de los pastizales húmedos del mundo comparten una serie de características fisiológicas consistentes con la descripción ya realizada sobre los pajonales de América del Sur, incluyendo una influencia recíproca entre el fuego y el pastoreo, mediada por el contenido proteico de los tejidos (Wedin, 1995). Tras un cierto período libre de quemas, el bajo contenido de nitrógeno en los tejidos de la/s especie/s dominante/s y la baja accesibilidad al forraje, limitan el consumo por grandes herbívoros, propiciando acumulaciones importantes de biomasa e inhibiendo o reduciendo la productividad primaria. Bajo el manejo tradicional de estos pajonales con fines pastoriles, esa retroalimentación

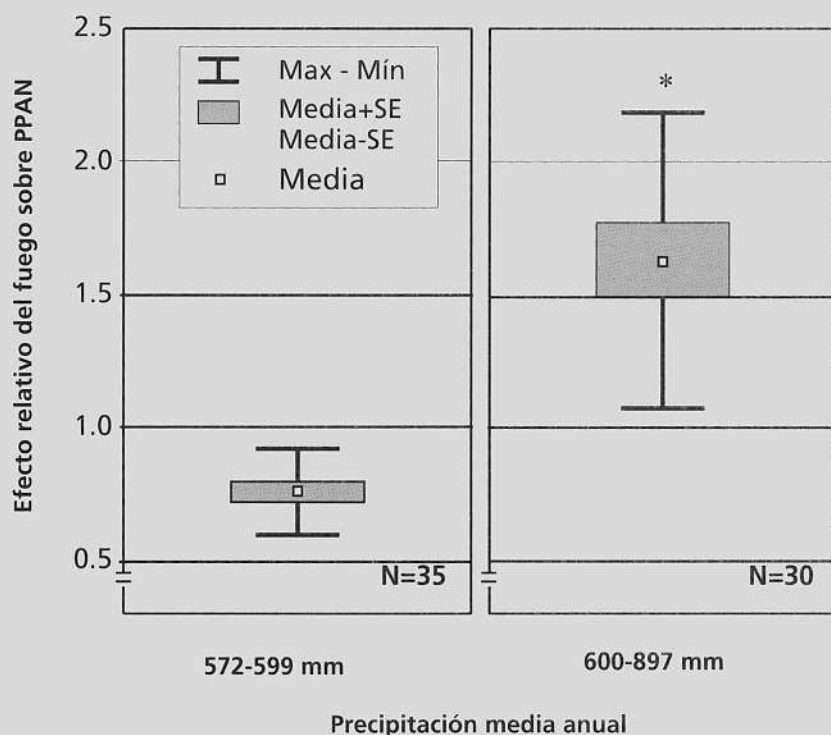


Figura 3. Efecto relativo del fuego sobre la productividad primaria aérea neta anual (PPAN) de pastizales quemados ($PPAN_{\text{pastizal quemado}} / PPAN_{\text{pastizal no quemado}}$), según la precipitación media anual del sitio. Cajas y barras: datos tomados de Oesterheld y col. (1999). *: *Paspaleetum* (Sakalauskas et al., 2001), 1052 mm de precipitación media anual

tación positiva entre la relación C/N del forraje y la acumulación de biomasa se altera por la aplicación periódica u ocasional del fuego (Figura 4). Tradicionalmente, las quemas se realizan antes del inicio de la estación de crecimiento de las especies dominantes lo que incrementa el contenido proteico de los rebrotes y estimula el consumo por los herbívoros.

La información disponible sobre el *Paspaleetum* es consistente con el modelo anterior. Durante la primer estación de crecimiento siguiente a una quema invernal, la productividad primaria neta aérea de la fase pajonal puede resultar más que duplicada (Sakalauskas et al. *op. cit.*, Figura 3). El contenido de proteína cruda de *P. quadrifarium* aumenta en magnitud variable dependiendo del tiempo desde la quema y del régimen de defoliaciones posteriores a ella y puede llegar hasta 2.5 veces en diciembre, disminuyendo hacia el otoño (Sacido et al. 1995). Así también, la utilización de los manchones de pajonal por el ganado vacuno -en términos de selección de sitios de pastoreo- puede incrementarse hasta ocho veces (Lattera et al., 2003) y la receptividad ganadera de un potrero constituido por un típico mosaico de pajonal y pastos cortos, puede pasar de 0.4 - 0.6 eq. vaca.ha⁻¹ a 2 eq.vaca ha⁻¹ (Cauhépé, 1990; Cauhépé y Lattera, 1998).

4. Dominancia, fuego y regeneración del canopeo

La composición florística de pastizales húmedos poco disturbados expresa en gran medida el balance de los procesos de competencia interespecífica en "equilibrio" con el ambiente (Taiton et al., 1996). Bajo tales condiciones, las especies más exitosas no sólo basan su estrategia de dominancia en caracteres que les confieren gran habilidad competitiva, sino también en su capacidad para inhibir el establecimiento de otros individuos, así como su potencial de regeneración a partir de disturbios ocasionales.

La altura de la planta es uno de los caracteres que mejor definen la jerarquía competitiva en ambientes productivos. Por lo tanto, no constituye una sorpresa que los pastizales húmedos poco disturbados generalmente se encuentren dominados por un número reducido de especies de gramíneas de hojas largas, lo suficientemente rígidas como para mantenerse erectas, lo cual es típico en gramíneas formadoras de matas o "tussocks". El alto contenido de fibra de las hojas de las especies dominantes no sólo puede interpretarse como una adquisición evolutiva, que sustenta el crecimiento en altura, sino también como un carácter que disminuye el impac-

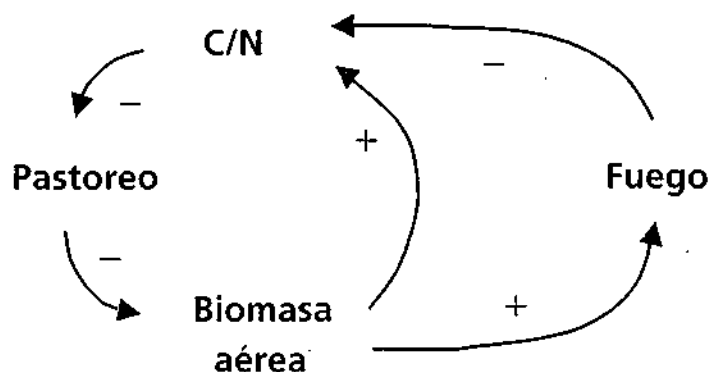


Figura 4. Interacción entre los efectos del fuego y del pastoreo sobre la disponibilidad y la relación carbono / nitrógeno (C/N) de la biomasa aérea en pastizales húmedos.

to de la herbivoría, al reducir su palatabilidad frente a grandes mamíferos.

La inhibición del establecimiento de otros individuos por gramíneas formadoras de matas, ha sido vinculada a la influencia de su arquitectura sobre la intercepción lumínica y a la generación de una importante acumulación de broza sobre la superficie del suelo. La elevada densidad de macollos característica de la estructura en mata determina reducciones locales en disponibilidad lumínica que impone fuertes restricciones a la germinación y a la supervivencia de plántulas (Ryel *et al.*, 1994) en comparación con distribuciones de macollos más homogéneas (especies rizomatosas). Por otra parte, la capacidad de la broza para inhibir el establecimiento de plántulas ha sido reconocida como un componente clave de la estrategia de dominancia de gramíneas cespitosas en comunidades herbáceas (Grime, 1979). El canopeo de la fase pajonal del *Paspaleum* en estado maduro puede alcanzar 1.5 m de altura y 18000 - 20000 kg.ha⁻¹ (Latterra y Vignolio, 1997a; Latterra *et al.*, 2003), interfiriendo con casi el 100% de la radiación fotosintéticamente activa (Latterra *et al.*, 1994). En ese estado, la presencia del canopeo inhibe el establecimiento de nuevas plantas, aún frente a una alta disponibilidad de semillas viables. La broza también puede alcanzar acumulaciones de 18000 - 19000 kg.ha⁻¹ que por sí misma inhibe la germinación y/o emergencia de plántulas (Ortega 1998; Ortega y Latterra, 1996; 2003).

Después de una quema, la regeneración del canopeo de un pastizal depende de dos mecanismos básicos: el rebrote a partir de las matas de especies tolerantes al fuego, y el establecimiento de nuevos individuos a partir de semillas. El rebrote depende del crecimiento de nuevas hojas a partir de meristemas apicales sobrevivientes y la activación de yemas axilares (macollaje). La eficiencia de la vía de regeneración vegetativa depende de la posición de los meristemas y del estado fisiológico de la planta

al momento de la quema así como de la intensidad del fuego y el calor absorbido por los meristemas (Auld y O'Connell, 1991; Bond y van Wilgen, 1999). Aunque en el pajonal maduro del *Paspaleum* las quemadas invernales pueden alcanzar gran intensidad, con temperaturas máximas medias de 361°C y 144°C al ras del suelo, dentro y fuera de las matas, respectivamente, nunca se ha registrado mortalidad de plantas completas por efecto directo del fuego (Latterra *et al.*, inédito; Vignolio *et al.*, 1998). A pesar que las quemadas invierno-primaverales determinan una significativa mortalidad de macollos (7% - 43% según Linares *et al.*, 1995) y la fragmentación de matas de gran área basal (Latterra *et al.*, 1994), el fuego promueve una tasa de macollaje capaz de sobrecompensar rápidamente esa pérdida inicial (Fariña Vacarezza, 1988; Derogibus *et al.*, 1989; Linares 1994). En ausencia de pastoreo, la regeneración del canopeo de *P. quadrifarium* por la vía vegetativa es capaz de restablecer los niveles de intercepción lumínica típicos del pajonal maduro dentro de la primer estación de crecimiento posterior a la quema (Latterra *et al.*, 1994, Figura 7).

En relación a la promoción del macollaje inducida por el fuego, la floración y la producción de semillas de las matas de *P. quadrifarium* resultan fuertemente inhibidas dentro de la primer estación de crecimiento posterior a la quema (Latterra *et al.*, 1994; Ricci *et al.*, 1996). Aunque el fuego genera condiciones para el establecimiento de una alta densidad de plántulas de *P. quadrifarium*, a partir de la lluvia de semillas del año anterior, la supervivencia de una pequeña parte de ellas depende de un nivel de pastoreo de los rebrotes capaz de impedir la "cicatrización" completa del canopeo (Latterra *et al.*, 1994).

Debido a que las quemadas tradicionales como las condiciones de mayor seguridad para la realización de quemadas prescritas, ocurren durante el período de reposo de *P. quadrifarium*, no exis-

ten datos sobre efectos de quemas estivales. Sin embargo, la información disponible para la pradera de pastos altos de América del Norte, donde al igual que en el *Paspaleum*, la especie dominante (*Andropogon gerardii*) forma matas que vegetan en los meses más cálidos, sugiere que los mecanismos de regeneración de *P. quadrifarium* antes descritos, pueden operar de modo muy diferente según la estación de quema (Towne y Owensby, 1984): mientras las quemas invierno-primaverales en la pradera de pastos altos promueven la dominancia de *A. scoparius* y otras especies estivales, las quemas estivales tienen el efecto contrario, promoviendo el valor de importancia de las especies invierno-primaverales.

5. Invasibilidad de pajonales quemados

El fuego puede afectar la condición del pastizal tanto en forma positiva como negativa a través de sus efectos sobre la/s especie/s dominante/s, y según el valor de las especies colonizadoras desde el punto de vista forrajero (buenas forrajeras *versus* malezas; gramíneas *versus* leguminosas) o de la conservación de la biodiversidad (nativas *versus* exóticas; raras *versus* comunes). La contribución relativa de las especies colonizadoras a la biomasa de pastizales quemados (invasibilidad) es sumamente variable, tanto entre distintos tipos de pastizales como dentro de un mismo tipo de pastizal.

La dominancia de las gramíneas formadoras de matas depende de su capacidad para crecer en altura, reducir la disponibilidad lumínica, inhibir la frecuencia e intensidad de defoliación por los herbívoros y "cicatrizan" rápidamente los disturbios del canopy. Por ello, la influencia del fuego sobre la composición florística de los pajonales depende de su capacidad para alterar la eficacia de tales mecanismos.

La influencia de la diversidad de especies del pastizal sobre su susceptibilidad a las invasiones por especies exóticas ha sido analizada por un gran número de estudios, gran parte de los cuales concluye que las comunidades menos diversas presentan mayor susceptibilidad a las invasiones que aquellas más diversas (Tilman, 1997; Naeem *et al.*, 2000). Debido a que la mayoría de esos estudios fueron realizados en ausencia de disturbios (ej. fuego) la influencia de la diversidad sobre la invasibilidad de pastizales quemados es una cuestión poco conocida. Un análisis basado en información publicada sobre cambios florísticos inducidos por el fuego sobre pastizales húmedos de Nueva Zelanda (pastizal de tussocks dominado por *Chionochloa rigida*) centro de USA (pradera de pastos altos dominada por

Andropogon scoparius) y el *Paspaleum* de la Pampa Deprimida evidencia que el nivel de diversidad previo a la quema podría actuar negativamente sobre la invasibilidad de pastizales quemados (Lattera, 2002) (Figura 5).

En pajonales de muy alta dominancia, como el *Paspaleum* (Figura 5), la quema genera ventanas de oportunidad para la emergencia de plántulas de las propias especies dominantes, y para la colonización por otras (Figura 6). Ese pulso de emergencia se explica en parte por los cambios microclimáticos asociados a la simple remoción del canopy y de la broza (Hurlbert, 1969; Ortega, 1998), y también de otros factores tales como el shock térmico (Auld *op. cit.*) y el humo generados por el fuego (Baxter *et al.*, 1994; Roche *et al.*, 1998).

La velocidad de regeneración del canopy frente a quemas esporádicas, puede resultar afectada por el fuego a través de dos vías diferentes: la reducción del vigor de las plantas tras quemas sucesivas y el incremento en su palatabilidad. Normalmente, los pajonales maduros no recuperan su altura tras una quema sino hasta después de varios ciclos de crecimiento libres de disturbios (Gitay *et al.*, 1992). Las altas frecuencias de quema y/o de pastoreo posterior a ellas determinan una altura de matas progresivamente inferior, pero una colonización de las intermatas

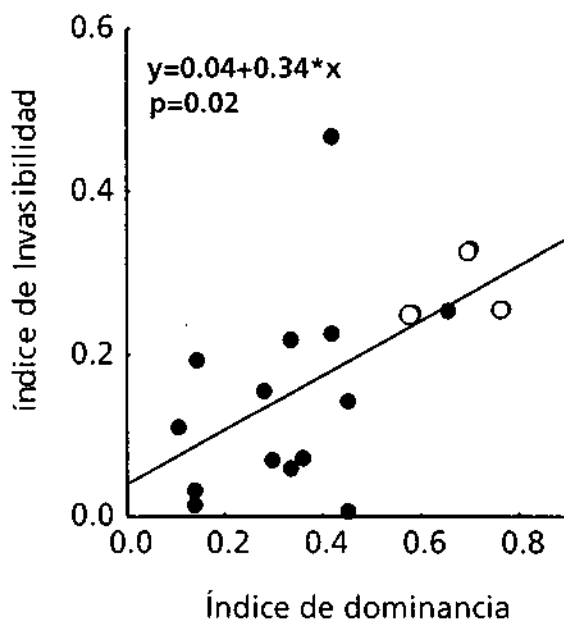


Fig. 5. Variación en la contribución relativa de especies invasoras en pastizales quemados (índice de invasibilidad), en relación con la contribución relativa de las especies dominantes en testigos no quemados (índice de dominancia), entre el *Paspaleum* de la Pampa Deprimida (puntos vacíos) y pastizales altos de Nueva Zelanda y el centro de Estados Unidos de Norteamérica (puntos llenos) (Lattera, 2002).

progresivamente mayor (Figura 7). Solo bajo estas condiciones, una parte de las ventanas de oportunidad que genera una quema para la emergencia de plántulas dentro del *Paspaleum*, constituyen sitios seguros para el establecimiento de nuevos individuos.

Los cambios florísticos inducidos por quemas invierno-primaverales del *Paspaleum* ejemplifican que, además de mejorar la calidad forrajera de la especie dominante, el fuego puede afectar el valor pastoril de la comunidad según el éxito relativo de las distintas especies que actúan como colonizadoras. Entre las especies colonizadoras que se destacan por su abundancia, los cardos *Cirsium vulgare* y *Carduus acanthoides* y la leguminosa *Lotus glaber* (en adelante "lotus") poseen una importancia particular. Mientras que el enmalezamiento con cardos dificulta su aprovechamiento forrajero de los pajonales y obliga a la aplicación de herbicidas (Cauhépé, 1990; Juan *et al.*, 2000), la colonización por lotus eleva sustancialmente la oferta proteica y la producción de biomasa y es capaz de reducir la importancia de las dos especies de cardos y la necesidad de recurrir al uso de herbicidas (Lattera, 1997) (Figura 8).

Los estudios destinados a generar criterios para promover la colonización por lotus en detrimento de los cardos indican que las características de la última quema ("evento-dependientes"), la historia de quemas ("frecuencia-dependientes") y las interacciones interespecíficas entre las especies colonizadoras influyen en la abundancia relativa de distintas especies colonizadoras de pajonales quemados. Mientras la emergencia de cardos y lotus es promovida diferencialmente por la disponibilidad de biomasa combustible y el sentido de la quema (Lattera y Vignolio, 1997b), la biomasa de cada especie al cabo del primer ciclo de crecimiento después de una quema,

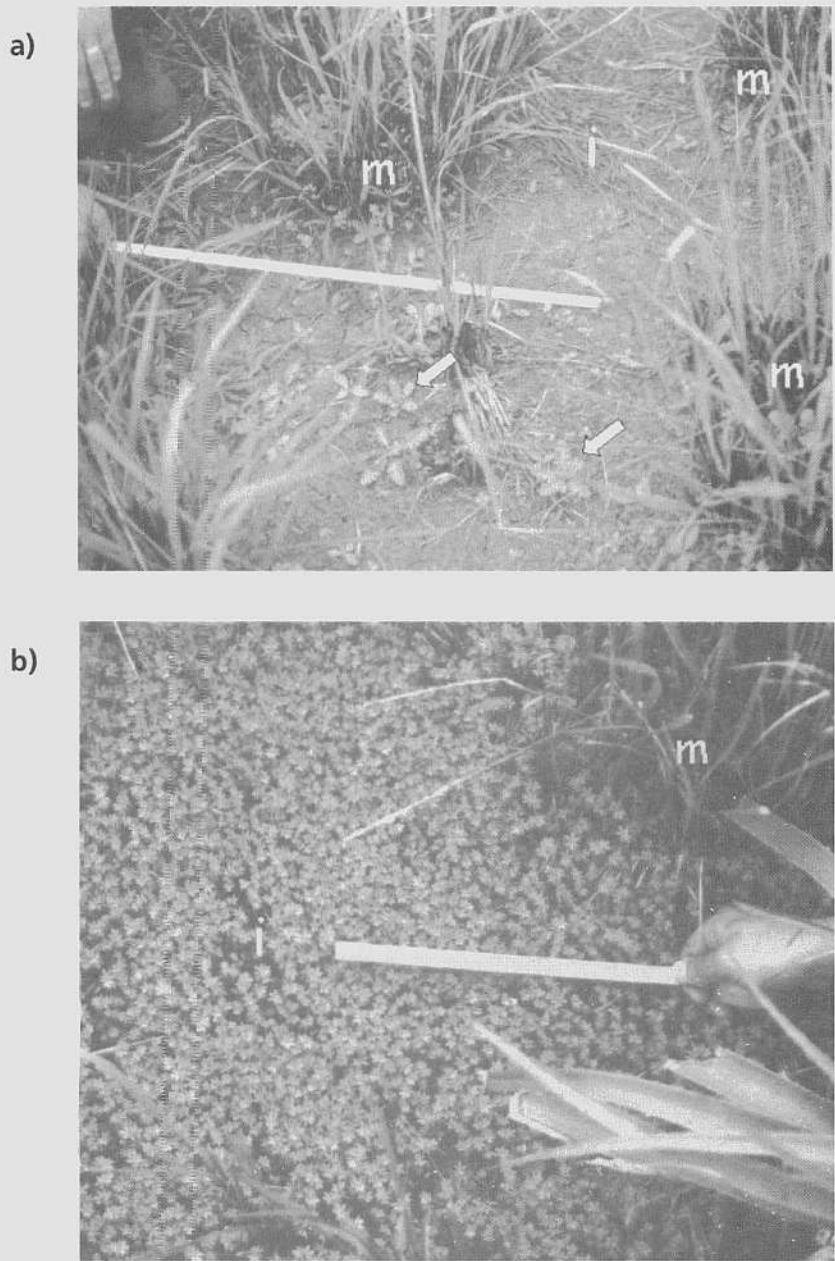


Figura 6. Cobertura del suelo de un pajonal de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) a fines de primavera, tres meses después de una quema invernal, con alto porcentaje de suelo desnudo y establecimiento de cardos (a) o con emergencia de *Lotus glaber* en alta densidad (b). Nótese el rebrote de *P. quadrifarium* acotado a las coronas de las matas (m), la elevada proporción del suelo que permanece desnudo en las áreas intermata (i) de la Figura 1a, así como las plántulas de cardos (flechas) establecidas en estas últimas.

mostró una respuesta diferencial frente a altas y bajas frecuencias de quema (Lattera y Vignolio, 1997a). Esa respuesta diferencial de lotus y cardos a la frecuencia de quema es consistente con un modelo de colonización basado en las estrategias de dispersión espacial y temporal de las especies y regímenes de quema variables en el

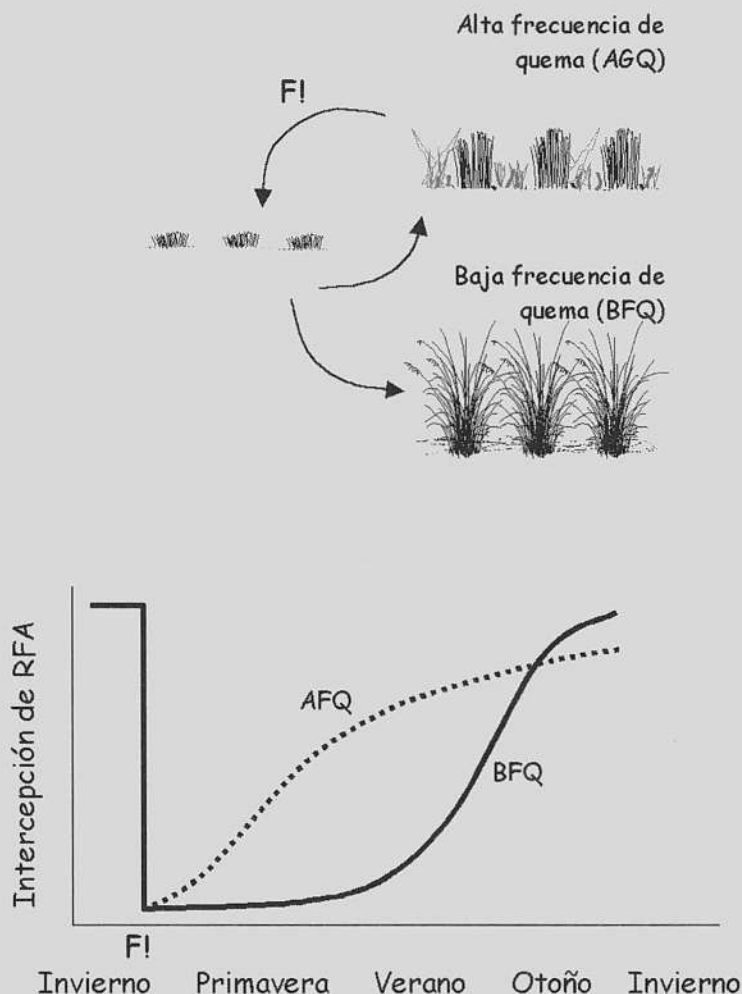


Figura 7. Restablecimiento del canopeo de pajonales dominados por *Paspalum quadrifarium*, luego de quemas invernales (F!), según la frecuencia de quemas previas. a: perfiles esquemáticos contrastando la arquitectura de las matas de la especie dominante (en negro) y la importancia de especies colonizadoras postquema (en gris), b) porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por el canopeo de pajonales con historia de quemas contrastante, luego de una quema invernal (Latterra et al. 1994; Latterra y Vignolio 1997).

espacio y en el tiempo. La baja capacidad de dispersión espacial y alta dispersión temporal (alta dormición) de las semillas de lotus le confieren ventajas frente a la estrategia inversa (cardos) bajo altas frecuencias de quema (Latterra y Solbrig, 2001) (Fig. 9). Entre las interacciones interespecíficas se pudo comprobar la capacidad de lotus para inhibir la emergencia de cardos a través de sustancias alelopáticas así como para reducir la supervivencia de las plántulas de cardos emergidas (Latterra y Bazzalo, 1999; Ortega et al., 2000; Ortega y Latterra, 2003). Sin embargo, el balance competitivo entre lotus y cardos puede variar con la disponibilidad de agua y fósforo (Ochoa, 2001; Ochoa et al., 2001).

La aptitud del fuego para desactivar los mecanismos de dominancia y favorecer la coloniza-

ción por especies ausentes en pajonales maduros también es utilizada con éxito para intersembrar especies de alto valor forrajero (Juan *op. cit.*; Lattanzi et al., 1996).

6. Estados, transiciones y servicios del pajonal

Una de las principales ventajas del manejo de pajonales con quemas prescritas reside en la inmediatez de sus efectos sobre la calidad forrajera promedio de la comunidad. Sin embargo, la aplicación de esta herramienta también debería atender sus posibles efectos de largo plazo sobre la estructura florística. A esa escala de

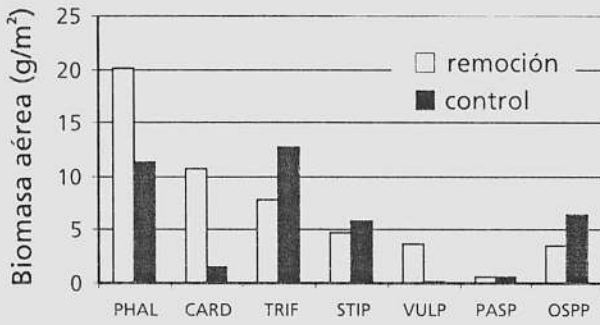


Figura 8. Biomasa aérea de especies colonizadoras en las intermatas de un pajonal de paja colorada quemado en primavera temprana, a principios del verano siguiente, en presencia (control) y ausencia (remoción) de *Lotus glaber*. PHAL: *Phalaris angusta*, CARD: *Carduus acanthoides*, TRIF: *Trifolium repens*, STIP: *Stipa* spp., VULP: *Vulpia dertonensis*, PASP: *Paspalum quadrifarium*; OSPP: otras especies. Las diferencias son sólo significativas al 5% para *C. acanthoides*. Modificado de Laterra (1997).

tiempo, la aptitud forrajera del pajonal dependerá tanto de efectos evento-dependientes como frecuencia-dependientes y de su interacción con la historia de otros disturbios como el pastoreo, labores mecánicas, aplicaciones de herbicidas e intersiembras.

Durante la última década se han desarrollado un gran número de modelos de sucesión en pastizales que admiten que los cambios florísticos no son necesariamente continuos ni convergentes y que describen, además la existencia de varios estados estables alternativos posibles. Las invasiones inducidas por el fuego juegan un papel clave en muchos de esos modelos, pero los intentos por establecer generalizaciones sobre esos procesos, en términos funcionales y no meramente florísticos, son aún incipientes (Grace *et al.*, 2001; Laterra y Solbrig, 2001.).

Como ya vimos, los pastizales húmedos del mundo difieren en su resistencia a la invasión mediada por el fuego, aparentemente, gracias a mecanismos relacionados con el grado de dominancia de la comunidad. Mientras en la pradera de pastos altos del centro de América del Norte, las quemadas invernales promueven la abundancia de las especies dominantes que crecen formando grandes matas (Towne y Owensby, 1984), en los pastizales de tussocks de Nueva Zelanda (Allen y Partridge, 1988) y en el *Paspaleto* de la Pampa Deprimida (Laterra y Vignolio, 1997) sucede lo contrario (Figura 10). Si bien la fase pajonal del *Paspaleto* posee una elevada resiliencia frente al fuego, otros disturbios capaces de provocar la eliminación de las matas y del banco de semillas transitorio (herbi-

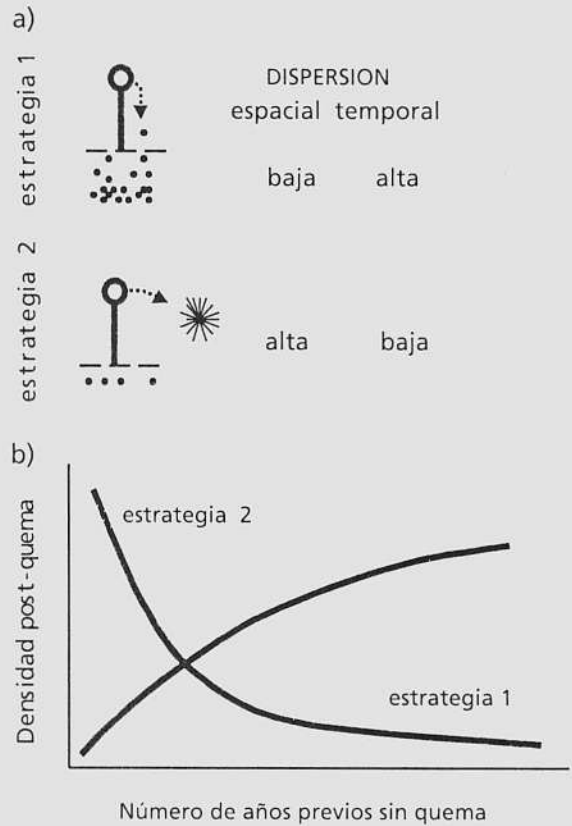


Figura 9. Estrategias de dispersión de especies colonizadoras de pajonales quemados (a), y la variación esperada en su densidad de plantas establecidas luego una quemada invernal, según la frecuencia de quemadas anteriores. Modificado de Laterra y Solbrig (2001).

cidas sistémicos y aradas en años sucesivos) pueden conducir al reemplazo prácticamente irreversible de la fase pajonal por la matriz de pastos cortos (Laterra *et al.*, 1998).

El escaso conocimiento disponible sobre los distintos tipos de servicios ecosistémicos que brinda el *Paspaleto* ya ha sido considerado en otros trabajos recientes (Laterra *et al.*, 1998; Laterra, en prensa). Además de su valor como recurso forrajero, el *Paspaleto* representa el hábitat de una variada fauna silvestre (Comparatore *et al.*, 1996; Isaach & Martínez, 2001) y de algunos elementos de la flora nativa valorados como fuente de germoplasma (Figura 10) que actualmente no gozan de adecuada protección (Krapovickas & Di Giacomo, 1998). El uso del fuego no sólo promueve la biodiversidad del *Paspaleto* al propiciar el mantenimiento de una gran heterogeneidad de hábitats (Figura 11), sino que representa una alternativa productiva para la fase pajonal, frente al su sustitución definitiva.

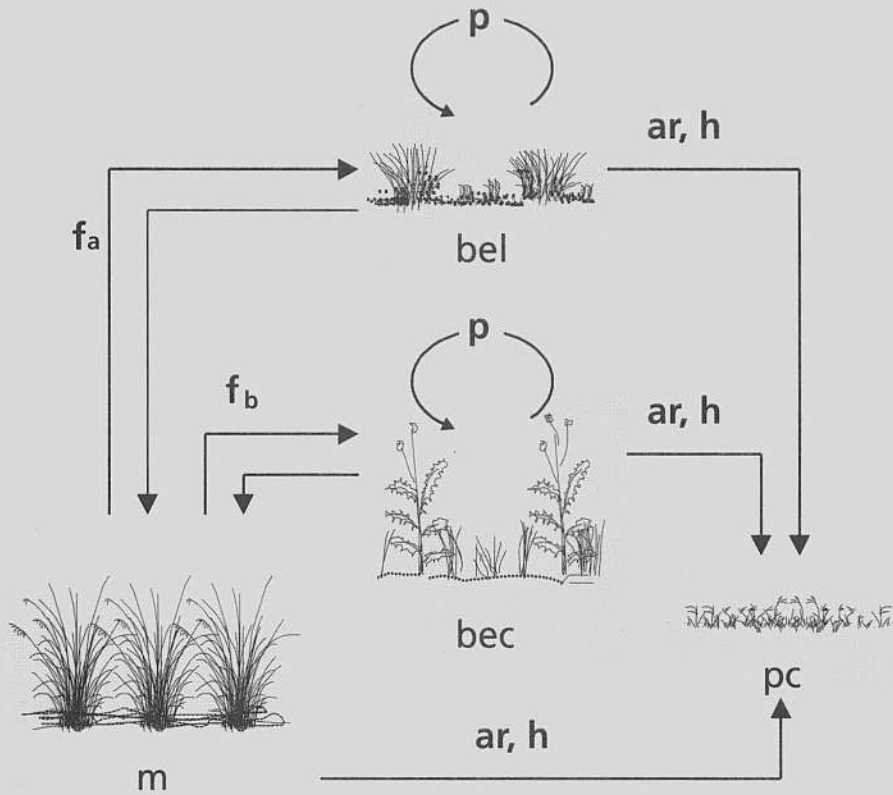


Figura 10. Principales estados estables (m: pajonal maduro, pc: pastos cortos) y transicionales (bel: pajonal bi estratificado con lotus; BEC pajonal bi estratificado con cardos) de los pajonales dominados por paja colorada (*Paspalum quadrifarium* y/o *P. exaltatum*) en la Pampa Deprimida. Las flechas identificadas con letras, indican transiciones entre estados, o su mantenimiento en base a distintos tipos de disturbios (f_a y f_b : alta y baja frecuencia de fuego, respectivamente; p: pastoreo; a: arado; h: herbicidas sistémicos); las flechas sin letras indican transiciones impuestas por mecanismos sucesionales. Modificado de Laterra et al., 1998.

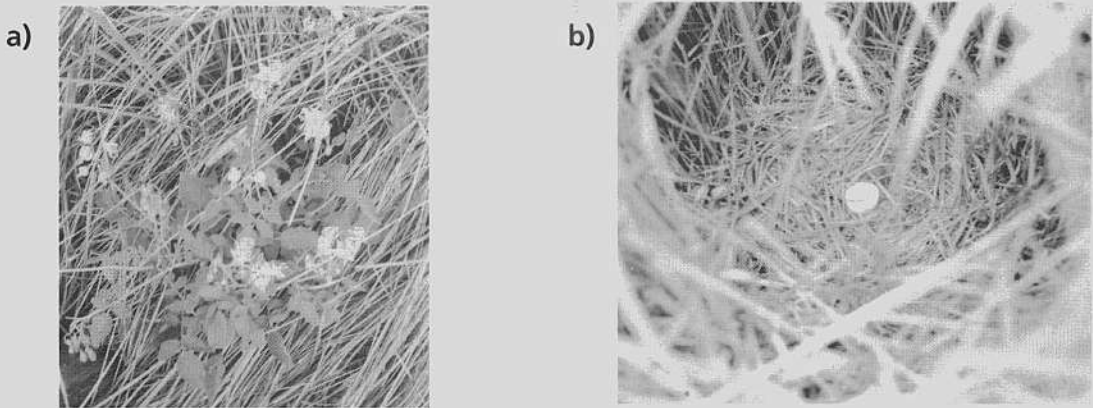


Figura 11. Dos aspectos del Paspaleto como refugio de biodiversidad: ejemplar de *Solanum commersonii* (a), y nido de gavián ceniciento (*Circus cinereus*) (b), ambos entre matas de *Paspalum quadrifarium*.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido en parte financiado por subsidios del FONCYT a Néstor Maceira y de la Universidad Nacional de Mar del Plata a Osvaldo Fernández y a Pedro Laterra.

8. Bibliografía

- Aguilera, M.O., D.F. Steinaker, M.R. Demaría y A.O. Avila. 1998. Estados y transiciones de los pastizales de *Sorghastrum pellitum* del área medanosa central de San Luis, Argentina. *Ecotrópicos* 11: 107-120.
- Allen, R.B. y T.R. Partridge. 1988. Effects of spring and autumn fires on the composition of *Chionochloa rigida* tussock grassland, New Zealand. *Vegetatio* 76: 37-44.
- Alonso, S., P. Laterra y F. Garita. 1995. *Paspalum exaltatum*-Presl. en los pajonales de paja colorada del sudeste bonaerense. *Rev. Arg. Prod. Animal* 15: 97-99.
- Anderson, D.L. 1979. La distribución de *Sorghastrum pellitum* (Poaceae) en la Provincia de San Luis y su significado ecológico. *Kurtziana* 12-13: 37-45.
- Auld, T.D. O'Connell, M.A. 1991. Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae. *Austr. J. Ecol.* 16: 53-70
- Azara, F. 1998. Viajes por la América Meridional (2 vols.). Buenos Aires. Elefante Blanco.
- Baxter, B.J.M., van Staden, J., J.E. Granger y N.A.C. Brown 1994. Plant-derived smoke and smoke extracts stimulate seed germination of the fire-climax grass *Themeda triandra*. *Environmental and Experimental Botany* 34: 217-223.
- Bond, W.J. & van Wilgen, B.W. 1999. *Fire and Plants*. Chapman & Hall. London.
- Cabrera, A.L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. En: Parodi, L.R. (Ed.). *Enciclopedia de Agricultura y Jardinería*. Tomo II., Fasc. 1: 1-88. ACME, Buenos Aires.
- Cauhepé, M.A. 1990. Manejo racional de la paja colorada. *Revista CREA (Argentina)*, 143:62-69.
- Cauhepé, M.A. y P. Laterra. 1998. Manejo de pajonales de paja colorada basado en estudios ecológicos. *Boletín Técnico de la EEA Balcarce (INTA)*, No. 145, 20 pp.
- Collins, S.L. y L.I. Wallace (Eds.). 1990. *Fire in North American tallgrass prairies*. University of Oklahoma Press, Norman, Oklahoma.
- Comparatore, V.M., M.M. Martínez, A.I. Vasallo, M. Barg y J.P. Isacch. 1996. Abundancia y relaciones con el hábitat de aves y mamíferos en pastizales de *Paspalum quadrifarium* (paja colorada) manejados con fuego (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *Interciencia*, 21: 228-237.
- Darwin, Ch. 1977. *Un Naturalista en el Plata*. Centro Editor de América Latina. Buenos Aires (traducc. Caps. III al X de *A naturalist's voyage round the world in H.M.S. Beagle*).
- Deregibus, V.A., Fariña Vacarezza, M.M. y R.M. Baliña 1989. Estructura y función de pajonales de *Paspalum quadrifarium* quemados. Resúmenes de la XIV Reunión Argentina de Ecología. San Salvador de Jujuy.
- Falce, M. 1977. El fuego como modelador de sistemas pasturales en la provincia de Salta. Universidad Nacional de Salta. Consejo de Investigación. 29 pp.
- Fariña Vacarezza, M.M. 1988. Pajonales de *Paspalum quadrifarium*. Análisis de sus características estructurales y el efecto del tratamiento con dos herbicidas. Trabajo de Intensificación de Ing. Agr., Fac. de Agronomía, UBA.
- Gitay, H., W.G. Lee, R.B. Allen y J.B. Wilson 1992. Recovery of *Chionochloa rigida* tussocks from fires in South Island, New Zealand. *Journal of Environmental Management* 35: 249-259.
- Grace, J.B., M.D. Smith, S.L. Grace, S.L. Collins, and T.J. Stohlgren. 2001. Interactions between fire and invasive plants in temperate grasslands of North America. Pages 40-65 in K.E.M. Galley and T.P. Wilson (eds.). *Proceedings of the Invasive Species Workshop: the Role of Fire in the Control and Spread of Invasive Species*. Fire Conference 2000: the First National Congress on Fire Ecology, Prevention, and Management. Miscellaneous Publication No. 11, Tall Timbers Research Station, Tallahassee, FL.
- Grime, J.P. 1979. *Plant Strategies and vegetation processes*. John Wiley & Sons, New York, New York, USA. pp. 222 .
- Hurlbert, L.C. 1969. Fire and litter effects in undisturbed bluestem prairie in Kansas. *Ecology* 50: 874-877.
- Isacch, J.P. y M.M. Martínez 2001. Estacionalidad y relaciones con la estructura del hábitat de la comunidad de aves de pastizales de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) manejados con fuego en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ornitología Neotropical* 12: 345-354.

- Juan, V.F., L. Monterroso, M.B. Sacido y M.A. Cauhépé 2000. Postburning legume seeding in the Flooding Pampa, Argentina. *Journal of Range Management* 53: 300-304.
- Krapovickas, S, y A.S. Di Giacomo. 1998. Conservation of pampas and campos grasslands in Argentina. *Parks* 8: 47-53.
- Laterra, P. 1997. Post-burn recovery in the flooding Pampa: impact of an invasive legume. *Journal of Range Manage.* 50: 274-277.
- Laterra, P. 2002. Fire-cued invasibility of temperate grasslands: the influence of species diversity. Abstracts 45th Symposium of the International Association for Vegetation Science. Porto Alegre, Brasil.
- Laterra, P., L. Ricci, O. Vignolio y O.N. Fernández. 1994. Efectos del Fuego y del pastoreo sobre la regeneración por semillas de *Paspalum quadrifarium* en la Pampa Deprimida, Argentina. *Ecología Austral* 4:101-109.
- Laterra, P. y M.E. Bazzalo. 1999. Seed to seed allelopathic effects between two invaders of burned grasslands in the Flooding Pampa. *Weed Research* 39: 297-308.
- Laterra, P. y O.T. Solbrig. 2001. Dispersal strategies, spatial heterogeneity and colonization success in fire-managed grasslands. *Ecological Modelling* 139: 17-29.
- Laterra, P. y O.R. Vignolio. 1997a. Frecuencias de quema y estructura comunitaria en pastizales de la pampa deprimida. Res. XVIII Reunión Argentina de Ecología, Buenos Aires.
- Laterra y O.R. Vignolio. 1997b. Efectos del fuego sobre la expresión del banco de semillas en pajonales de *Paspalum quadrifarium*. Res. XVIII Reunión Argentina de Ecología, Buenos Aires.
- Laterra, P., O.R. Vignolio, L.G. Hidalgo, O.N. Fernández, M.A. Cauhépé y N. O. Maceira 1998. Dinámica de pajonales de paja colorada (*Paspalum spp*) manejados con fuego y pastoreo en la Pampa Deprimida Argentina. *Ecotrópicos* 11: 41-149.
- Laterra, P., O. Vignolio, P. Linares, A. Giaquinta and N. Maceira 2003. Cumulative effects of fire on the structure and function of a tussock pampa grassland. *Journal of Vegetation Science* 14: 43-54.
- Lewis, J.P., M.B. Collantes, E.F. Pire, N.J. Carnevale, S.I. Bocanelli, S.L. Stofella y D.E. 1985. Floristic groups and plant communities of southeastern Santa Fe, Argentina. *Vegetatio* 60: 67-90.
- Linares, P. 1994. Efectos del fuego y del pastoreo sobre la demografía de adultos de *Paspalum quadrifarium*, en pajonales de la Depresión del Río Salado. Tesis Ing. Agr., FCA, UNMP Balcarce, 1994.
- Lattanzi, F., R. Bidegain, G. Cavalleri, A. Barbacone, P. Laterra, G. Monterubbianesi y M.A. Cauhépé. 1996. Establecimiento de raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) en pajonales de paja colorada (*Paspalum quadrifarium* Lam.) manejado con quemas en otoño. Actas del XX Congreso de AAPA. Termas de Río Hondo. Sgo. del Estero.
- Linares, M.P., P. Laterra, O.R. Vignolio y N.O. Maceira. 1995. Efectos de la quema invernal sobre la demografía de adultos de *Paspalum quadrifarium* bajo distintas historias de uso. Resúmenes de la XVII Reunión Argentina de Ecología. Mar del Plata.
- Lunt, I.D. 1990. Impact of an autumn fire on a long-grazed *Themeda triandra* (kangaroo grass) grassland: implications for management of invaded, remnant vegetations. *Victorian Naturalist* 107: 45-51.
- Mark, A.F. 1994. Effects of burning and grazing on sustainable utilisation of upland snow tussock (*Chionochloa* spp.) rangelands for pastoralism in South Island, New Zealand. *Australian Journal of Botany* 42: 149-161.
- Morello, J. y J. Adámoli 1968. La Vegetación de la República Argentina. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino. Primera Parte: Objetivos y Metodología. Serie Fitogeográfica 10: 1-125. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.
- Naeem, S.; J. M. H. Knops; D.Tilman; K. M. Howe; T. Kennedy; S. Gale 2000 Plant diversity increases resistance to invasion in absence of covarying extrinsic factors. *Oikos* 91:97-108
- Ochoa, M. C. 2001. Interacciones entre *Lotus tenuis* Waldst et Kit y *Carduus acanthoides* L. en pastizales de paja colorada de la Pampa Deprimida. Tesis M. Sc., Escuela de Postgrado en Producción Vegetal, FCA, UNMP.
- Ochoa, M. del C.; P. Laterra; O. N. Fernández, y H. Echeverría, 2001. Competencia y Facilitación entre especies colonizadoras de pastizales quemados en la Pampa Deprimida: Efectos de la disponibilidad de agua y fósforo. Resúmenes de la XV Congreso de la asociación Latinoamericana de Malezas. X Jornadas Venezolanas Científico Técnicas en Biología y Combate de Malezas. Maracaibo, Venezuela.
- O'Connor, T. G., y G. J. Bredenkamp, 1997. Grassland. En: R. M. Cowling, D. M. Richardson y S. M. Pierce (Ed.). *Vegetation of Southern Africa* Cambridge, Cambridge University Press.
- Oesterheld, M., J. Loreti, M. Semmartin y J. M. Paruelo 1999. Grazing, fire, and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. En: L. R. Walker (Ed.) *Ecosystems of disturbed ground*. Elsevier, Amsterdam.

Ortega, E.Z. 1998. Impacto de *Lotus tenuis* sobre la productividad y el enmalezamiento de pajonales de *Paspalum quadrifarium* quemados. Tesis M. Sc., Escuela de Postgrado en Producción Vegetal, FCA, UNMP.

Ortega, E.Z. y P. Littera. 1996. Emergencia y supervivencia de cardos (*Cirsium vulgare* y *Carduus acanthoides*) en pajonales de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) quemados. Actas del XX Congreso de AAPA. Termas de Río Hondo. Sgo. del Estero.

Ortega, E. y P. Littera. 2003. Fire-cued colonization of a Flooding pampa grass land by thistle species: remnant litter and interference effects. Applied Vegetation Science, (in press).

Ortega, E., P. Vergara, O. Vignolio y P. Littera 2000. Efectos de la densidad de *Lotus tenuis* sobre la emergencia, supervivencia y cobertura de *Cirsium vulgare*. Ecología Austral 10: 143-149.

Pizzio, R.M., C.A. Benitez, J.G. Fernández y O. Royo Pallarés 2003. Efectos del fuego en un pastizal de *Elyonurus muticus*. En: Kunst, C., A. Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo de Mitre (Eds.). Ecología y Manejo de Fuego en Ecosistemas Naturales y Modificados. pp. 160-161. EEA Santiago del Estero, INTA.

Pizzio, R.M. y O. Royo Pallarés 1994. Utilización y manejo de los pastizales del ecosistema Campos de Argentina. En: PROCISUR. Diálogo XL. Utilización y Manejo de Pastizales.

Ramsay, P.M. y E.R.B. Oxley 1996. Fire temperatures and postfire plant community dynamics in Ecuadorian grass páramo. Vegetatio 124: 129-144.

Renolfi, R. Dinámica de una sabana de *Elyonurus muticus* Spreng. (aibe) sometida a fuegos fortuitos. En: Kunst, C., A. Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo de Mitre (Eds.). Ecología y Manejo de Fuego en Ecosistemas Naturales y Modificados. pp. 171-173. EEA Santiago del Estero, INTA.

Ricci, L., P. Littera, R.O. Vignolio y O.N. Fernández 1996. Ecología reproductiva de *Paspalum quadrifarium* en pastizales naturales de la Pampa Deprimida. Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata, 101: 25-33.

Roche, S., K.W. Dixon, and J.S. Pate 1998. For everything a season: Smoke-induced seed germination and seedling recruitment in a Western Australian *Banksia* woodland. Australian Journal of Ecology 23: 111-120.

Ryel, R.J., W. Beyschlag y M.M. Caldwell 1994. Light field heterogeneity among tussock grasses: Theoretical considerations of light harvesting and seedling establishment in tussocks and uniform tiller distributions. Oecologia 98: 241-246.

Sacido, M., L. Hidalgo y M. Cauhépe 1995. Efectos del fuego y la defoliación sobre el valor nutritivo de matas de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*). Revista Argentina de Producción Animal 15:142-146.

Sakalauskas K. M., J. L. Costa, P. Littera, L. Hidalgo y L. Aguirrezabal 2001. Effects of burning on soil-water content and water use in a *Paspalum quadrifarium* grassland. Agricultural Water Management 1643:1-12.

Smalzer, P.A., C. Ross Hinkle y J.L. Mailander 1991. Changes in community composition and biomass in *Juncus roemerianus* Scheele and *Spartina bakeri* Merr. marshes one year after fire. Wetlands 11: 67-86.

Taiton, N.M., C.D. Morris y M.B. Hardy. 1996. Complexity and stability in grazing systems. En: Hodgson, J. y A.W. Illius (Eds.) 1996. The Ecology and Management of Grazing Systems. CAB International. Wallingford, UK.

Tilman, D. y D. Wedin. 1991. Plant traits and resource reduction for five grasses growing on a nitrogen gradient. Ecology 72: 685-700.

Tilman D. (1997) Community invasibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity. Ecology 78:81-92

Towne, G. y C. Owensby, 1984. Long-term effects of annual burning at different dates in ungrazed Kansas tallgrass prairie. *J. Range Manage.* 37: 392-397.

Vallejos, G. A. 1989. Efecto del corte y la quema de campo natural sobre la composición botánica y la producción ganadera. En: (Ed.). Manual de pasturas tropicales y subtropicales para el N.E. Argentino.

Vervoort, F. 1967. La vegetación de la República Argentina VII. Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado. Serie Fitogeográfica No. 7. INTA. Buenos Aires, Argentina. 262 p.

Vignolio, O.R., P. Littera y O.N. Fernández. 1998. Supervivencia y crecimiento de *Paspalum quadrifarium* bajo distintas frecuencias de quema. Resúmenes de la Reunión Argentina de Producción Animal. Paysandú, Uruguay.

Wedin, D.A. 1995. Species, nitrogen, and grassland dynamics: the constraints of stuff. En: C.G. Jones y J.H. Lawton (Eds.). Linking Species & Ecosystems. Pp. 253-262. Chapman & Hall. New York.

Capítulo 10

Ecología y régimen de fuego en la región chaqueña argentina

Carlos Kunst¹ y Sandra Bravo²

'...Incluso la palabra Chaco en todas sus acepciones lleva implícito el concepto de perturbación del manto verde con uso del fuego.'

Morello (1970).



Fuego, pasturas y bosques en el Chaco Foto: R. Renoffi

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Est. Exp. Agropecuaria Santiago del Estero. e-mail: ckunst@correo.inta.gov.ar

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Sgo del Estero. e-mail: sjbravo@arnet.com.ar

1. Introducción

En la región chaqueña argentina, como en otras de nuestro país y del mundo, el fuego es un evento ecológico recurrente, que actuando con distinta frecuencia e intensidad modela el paisaje junto al clima y la fisiografía (Morello 1970, Morello y Adámoli, 1973; Trabaud, 1992, Wright y Bailey, 1982).

Antaño percibido como un agente dañino y destructor, en la actualidad se considera al fuego como un disturbio natural que contribuye a la sustentabilidad de muchos ecosistemas (Stuart Chapin *et al.*, 1996). Este cambio a nivel conceptual se debe a que evidencia científico-técnica demuestra que el fuego es esencial en el reciclado de nutrientes dentro de algunos ecosistemas (Trollope, 1984); en el mantenimiento de la diversidad de especies (Kunst *et al.*, 2003); en la renovación de ambientes sucesionalmente estancados por la excesiva acumulación de material senescente y para el mantenimiento del habitats de muchas especies de fauna, entre otros efectos (Wright y Bailey, 1982; Bucher, 1982; Agee, 1993, Keeley, 1987).

Dentro de este enfoque moderno y amplio, se habla del 'régimen' y/o 'ecología de fuego' para una región. El régimen es una descripción del rol que tiene el fuego en un ecosistema en particular y suele incluir una descripción de su frecuencia, intensidad, estación en la que se producen las quemadas, extensión de áreas afectadas y de sus efectos en el suelo y la vegetación (Agee, 1993, Glitzenstein *et al.*, 1995). Otros autores emplean los términos 'ecología de fuego' al referirse a las mismas características (Wright y Bailey, 1982; Defossé, 1996).

El objetivo de este capítulo es revisar y analizar la información disponible sobre régimen de fuego en la región chaqueña y contribuir así a la comprensión del fenómeno y de su papel en la ecología de los ecosistemas chaqueños. Los conceptos e información discutida en este capítulo pueden aplicarse a la llanura chaqueña. El régimen y ecología del fuego en el Chaco Serrano no será analizado en el presente trabajo por tratarse de un ambiente de relieve quebrado, en el cual el comportamiento del fuego varía notablemente con respecto a los fuegos de llanuras, a pesar de que también allí es un fenómeno frecuente (Cabido y Zak, 1999).

2. El ambiente chaqueño

La región chaqueña se ubica en la parte norte de la Argentina. Hacia el norte y el este sus lími-

tes están constituidos por los ríos Pilcomayo y Paraná, respectivamente; al oeste las serranías de Tucumán y Salta. Su límite sur es más bien teórico y lo constituye la isoterma anual de 30 °C (Bruniard, 1978, Bucher, 1982, Figura 1).

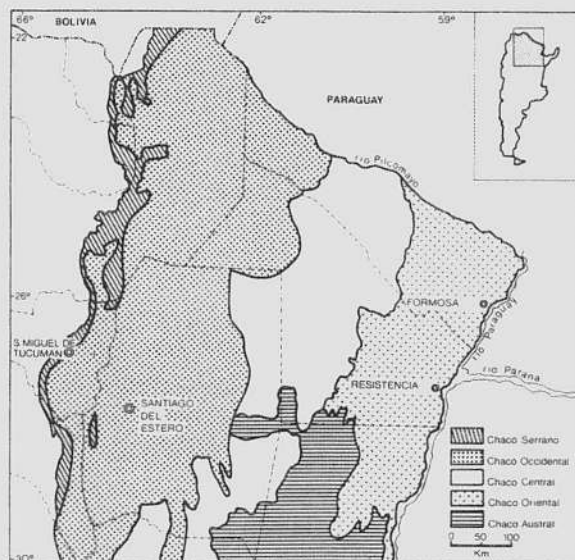


Figura 1. El Chaco argentino y sus subregiones (Bucher 1980).

2.1. Clima

El clima de la región chaqueña está determinado por la interacción entre las masas de aire de origen polar y los centros de baja y alta presión localizados en el invierno y verano, respectivamente, en el centro del país. Durante todo el año el anticiclón del Pacífico Sur produce masas de aire frías y húmedas que penetran en la Argentina, debido al menor desarrollo altitudinal de los Andes a estas latitudes (sur de la Patagonia), y recorren sin obstáculos la llanura argentina. En invierno, un centro de baja presión se ubica en el centro norte del país, desviando hacia el este las masas de aire. En verano, este centro se desplaza hacia el oeste y es reemplazado en la zona por un centro de alta presión que no interfiere con el pasaje de las masas. Estas, al chocar con aire caliente, generan lluvias frontales intensas (Boletta *com. personal*, Boletta 1988). Así, el invierno es seco y frío, la primavera seca y calurosa y el verano húmedo y caluroso. La temperatura media del mes más frío (Julio) es de 13,3 °C. Las heladas pueden alcanzar los -10 -12 °C en algunos inviernos en la parte central. La fecha probable de primera helada se presenta en Mayo y la última en Octubre.

Las precipitaciones se concentran en el verano y principios de otoño (régimen monzónico). La temperatura del aire del mes más cálido (Enero) es 26 °C. La precipitación media anual al-

canza los 1.000 - 1.200 mm a orillas del río Paraná, desciende hasta los 300 - 500 mm en el centro de la región ('la diagonal árida') y vuelve a aumentar en las estribaciones de las serranías (Figura 1). Existe una marcada variabilidad de las precipitaciones entre años y dentro de cada año.

2.2. Fisiografía y suelos

La región chaqueña es una llanura suavemente ondulada, con pendiente gradual hacia el este-sureste. Esas ondulaciones son resultantes de la divagación y del ciclo anual de inundaciones y secas de los ríos Salado, Dulce, Pilcomayo y Bermejo, las terrazas, planicies y barreras. A un nivel de percepción elevado, las características de los suelos, tales como material original y textura están en relación a los distintos materiales que arrastran y depositan los ríos o el agua escurrimiento del agua de lluvia (Morello, 1970, Bucher, 1982). Pueden distinguirse tres sitios de pastizal: el alto, la media loma y el bajo (Morello, 1970; Kunst *et al.*, 2002). Los suelos del alto son de textura gruesa y están poco desarrollados mientras que en el bajo, la textura es fina y el desarrollo del suelo es mayor. Los suelos de la región en general, salvo algunos ubicados en áreas salinas e inundables, no poseen limitaciones en la fertilidad para la producción de biomasa vegetal.

2.3. Vegetación natural

La fisonomía vegetal y las especies varían de acuerdo los sitios de pastizal descriptos: los bosques de quebracho colorado y blanco se ubican en los altos, las sabanas se ubican en los sectores bajos y los parques en las medias lomas (Figura 1, Kunst *et al.*, 2002, Lopez de Casenave *et al.* 1995). Los arbustales y los bosques bajos son ubicuos y resultantes generalmente de la sobretala y sobrepastoreo de las sabanas y bosques.

3. Ecología y régimen fuego

La función más 'conspicua' del fuego en la región chaqueña es la creación de espacios abiertos, es decir el mantenimiento del 'equilibrio' entre las proporciones de comunidades leñosas y herbáceas (Morello y Adámoli, 1973; Adámoli *et al.*, 1972, 1990).

3.1. Origen del fuego

En el pasado, los indios quemaban con gran frecuencia para cazar, guerrear o para hacer más habitable los alrededores de sus viviendas (Morello y Saravia Toledo, 1959; Morello, 1970). En la actualidad, la mayoría de los incendios están ligados a la actividad ganadera o agrícola. Existe evidencia, sin embargo que los rayos pueden originar fuegos de gran magnitud especialmente en áreas serranas (Kunst, observación personal).

3.2. Tipos y modelos de combustibles chaqueños

Los 'modelos de combustible' se definen por el tipo de combustible que propaga el fuego o que ejerce el mayor control sobre su comportamiento (Rothermel 1983). Los pastizales, sabanas, parques, arbustales y bosques constituyen los 'modelos' de combustible de la región chaqueña y en ellos se encuentran todos los tipos (finos, medianos y gruesos).

Los combustibles finos están compuestos por material seco de gramíneas y latifoliadas herbáceas. El calor de combustión de las gramíneas varía entre 15900-16400 kJ.kg⁻¹, similar al informado para otras especies a nivel mundial (Tabla 1).

Tabla 1 (a) Poder calorífico de tres gramíneas de la región chaqueña (según Vélez 1997); y (b) Peso específico, poder calorífico absoluto y poder calorífico relativo de especies leñosas nativas de la región chaqueña argentina. (Extraído de Melillo (1937) y Devoto y Rothkugel (1945). 8 % de contenido de humedad).

(a)			
Especies	Poder calorífico superior		
	kcal/kg ⁻¹	KJ/kg ⁻¹	
<i>Elionorus muticus</i>	3920	16409	
<i>Setaria globulifera</i>	3670		
<i>Pappophorum pappipherum</i>	3845	16095	

(b)			
Especie	Peso específico	Poder calorífico	
		Absoluto	Relativo
<i>Schinopsis quebracho colorado</i>	1,185	4,55	5,000
<i>Aspidosperma quebracho blanco</i>	0,875	4,75	3,850
<i>Acacia (tintitaco)</i>	1,330	4,55	5,650
<i>Prosopis alba</i>	0,795	4,60	3,400
<i>Prosopis ruscifolia</i>	0,785	4,40	3,2
<i>Prosopis nigra</i>		4,5	3,00
<i>Geoffroe a Decorticans</i>	0,653		

Las especies que comprenden los combustibles medianos y gruesos de la región chaqueña se caracterizan por su alta densidad específica comparada con especies de otros ecosistemas (Tabla 1). El poder calorífico es poco variable –aun entre gramíneas y leñosas–, pero el peso específico de la madera de las distintas especies leñosas es alto, característica que contribuye a aumentar la severidad del fuego. La presencia de terpenos, taninos y sustancias volátiles otorga a estos combustibles características particulares.

En los parques, sabanas y pastizales predominan los combustibles finos, gramíneas y latifoliadas, con cargas entre 4.000-10.000 kg.ha⁻¹ de materia seca. Los combustibles gruesos se presentan en forma aislada o en isletas pequeñas.

Los bosques y arbustales presentan además de combustibles finos, combustibles medianos y gruesos en pie. Por sus características es difícil una ignición directa, pero es posible la transmisión del fuego de un modelo de combustible a otro debido a la disposición ‘en escalera’ o estratos de alguno de ellos (ej. ramaje basal en quebracho colorado). Las cargas de combustible fino en bosques y arbustales es menor que en los ambientes anteriores; oscilando ente 0-1.000 kg.ha⁻¹ de materia seca. Barrionuevo (1997) informa para bosques de quebracho colorado y blanco del sector semiárido una carga de combustible de 214 ton.ha⁻¹ incluyendo troncos de

árboles y mantillo; sin considerar arbustos y copas de árboles.

3.3. Componentes del régimen de fuego

3.3.1. Epoca de quemas

La ‘temporada de fuego’ en la región chaqueña está asociada directamente con el patrón climático, comienza en junio - julio, luego que las primeras heladas ‘fuertes’ acondicionan el combustible – particularmente el herbáceo – y finaliza con las primeras lluvias importantes que ocurren durante octubre - noviembre y que generan el aumento la humedad relativa del aire y la producción de nuevo tejido vegetal (Figuras 2 y 3).

Las especies que componen los pastizales y sabanas de la región presentan en su gran mayoría síndrome fotosintético C4 (Pérez, 1992), producen y acumulan biomasa (combustible fino) durante el verano con una magnitud entre 1.000 y 10.000 kg MS.ha⁻¹, dependiendo de la subregión y del grado de uso. El crecimiento no se detiene mientras haya humedad disponible en el suelo pero cesa abruptamente con las heladas, que contribuyen a la acumulación de material senescente necesario para la quema.

A fines de invierno - principios de primavera generalmente soplan en la región vientos de dirección norte-noreste, con velocidades que pueden alcanzar los 60 km.h⁻¹. La humedad

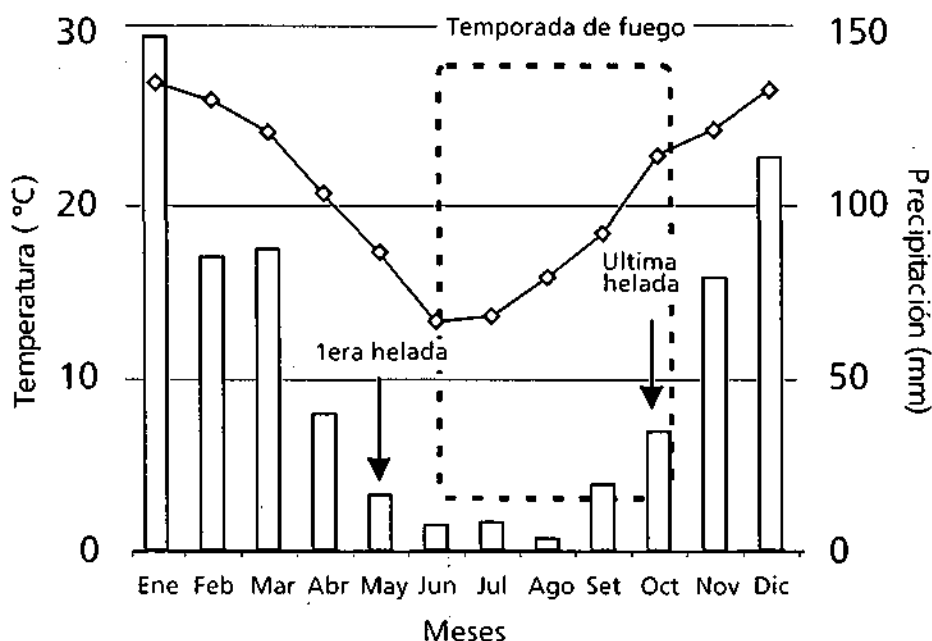


Figura 2. Temperaturas (línea), lluvias mensuales (barras verticales), y fechas probables de primera y última heladas en el Campo Experimental 'La María', INTA EEA Sgo. del Estero. El rectángulo enmarca la temporada de fuego en la zona central de la región chaqueña. Datos climáticos período 1981-1990, Observatorio Meteorológico EEA Sgo. del Estero, INTA.

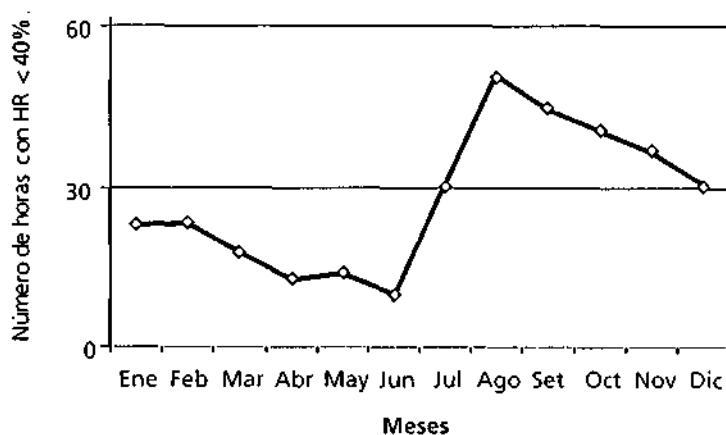


Figura 3. Número de horas promedio mensuales con humedad relativa del aire por debajo de 40 % entre Enero y Diciembre, Campo Experimental 'La María', INTA EEA Sgo del Estero. Datos climáticos período 1981-1990, Observatorio Meteorológico EEA Sgo del Estero, INTA.

relativa del aire durante esta época puede llegar al 20 % al mediodía y primeras horas de la tarde. Bajo estas condiciones ambientales los fuegos son intensos y se propagan fácilmente. La estructura del paisaje chaqueño, caracterizada por pastizales en bajos rodeados de 'paredes' de bosques genera un ambiente propicio. El viento se canaliza en ellos y acelera su velocidad y la de avance del frente de fuego.

Las quemadas se originan y se propagan primero en las sabanas y pastizales. El fuego se detiene generalmente en el ecotono entre bosque y sabana, donde existe un aumento de la cobertura de especies arbustivas y una disminución del combustible fino, razón por la que se la denomina franja 'guardafuego' (Bordón, 1983, Adámoli et al., 1990). En condiciones climáticas extremas, estos fuegos pueden extenderse a los bosques, generándose incendios de copa (Tortorelli, 1947, Mariot, comunicación personal).

3.3.2. Intensidad y severidad del fuego

Observaciones realizadas en quemadas prescriptas indican que en sabanas chaqueñas el largo de llamas supera ampliamente 2-3 m en fuegos frontales y condiciones ambientales promedio lo que representa una intensidad de fuego alta. A pesar de ello la severidad fue evaluada como de media a baja (Kunst et al., 2000).

El fuego causa lesiones o cicatrices en las leñosas y la altura del fuste a la que se presentan es considerado un indicador confiable de la intensidad del fuego (Ryan y Steele, 1989). El análisis de frecuencias de alturas de cicatrices en leñosas presentes en los ecotonos entre bosques y sabanas chaqueñas sugieren que la mayor parte de los incendios que ocurren en estos últimos ambientes son de intensidad media a alta (Bravo et al., 2001).

En bosques y arbustales, donde el combustible mediano y grueso aumenta su participación, la intensidad y severidad del fuego puede ser muy altas y pueden producir esterilización de suelos y cambios irreversibles en algunas comunidades vegetales (Morello, 1970). El largo de llamas puede superar los 6-7 m y la columna de convección 10 - 20 m de altura (Abatedaga, com. personal). Este hecho se debe a las altas cargas de combustible que pueden estar presentes y al peso específico de las maderas de las especies leñosas chaqueñas.

A fin de comprender la diferencia entre intensidad y severidad de fuego consultar el capítulo relacionado con el 'Comportamiento del Fuego'.

3.3.3. Frecuencia de fuego

Se define a la *frecuencia de fuego* como el número de incendios que se producen en un lapso determinado de tiempo (Wright y Bailey, 1982, Agee, 1993). La mayor parte de los trabajos relacionados al tema se refiere al número de incendios por año, pero su magnitud suele ser de orden decimal en algunos ambientes debido a que una frecuencia anual de incendios no es común por insuficiente acumulación de combustible en ese período. Debido a ello se utiliza el concepto de *Intervalo Libre de Fuego* (ILF), que representa el período de tiempo transcurrido entre dos incendios sucesivos, y que refleja más claramente su frecuencia.

Bravo et al. (2001), estimaron a través del fechado de incendios en leñosas del ecotono entre el bosque y una sabana de *Elionorus muticus*, en el Campo Experimental 'La María', INTA (Santiago del Estero), una frecuencia de 0,179 fuego.año⁻¹ y un valor medio de ILF de 3-4 años, en base a una función probabilística de Weibull para el período 1923-1996. Bordón

(1993) informa para sabanas bajo uso ganadero una frecuencia anual de incendios en las zonas más húmedas del Chaco, originada por la aplicación de quemados con el fin de favorecer el rebrote de los pastos y control de leñosas. Morello (1970) sugiere que los gramillares y pajonales de los esteros deben estar sometidos a perturbaciones periódicas de fuego (1 fuego por año) e inundación para mantenerse en el tiempo. Las citadas frecuencias e ILFs se encuentran dentro del rango de probabilidades propuesto para sabanas y pastizales a nivel mundial: 1-2 años en zonas húmedas y 4-8 años en zonas áridas (Leigh y Noble, 1981, Wright y Bailey, 1982, Trollope, 1984a, Glitzenstein *et al.*, 1995).

No se disponen de datos anteriores sobre frecuencia e ILF en bosques chaqueños, aunque Morello (1970) sugiere que la 'cumbre no inflamable' posee baja frecuencia de fuego (1 cada 10 años) o nunca se incendia. La quema de bosques de madera dura solo ocurriría en condiciones climáticas extremas (Morello, 1970).

3.3.4. Cambios temporales del régimen de fuego

Las actividades del Hombre y los cambios climáticos son las principales fuentes de variación del régimen de fuego en distintas regiones del mundo. Dentro de la región Chaqueña, ciclos de lluvia por debajo de lo normal, el advenimiento de la ganadería; el exceso de carga animal, el emplazamiento de puestos y caminos que modifica el escurrimiento de agua y también el uso irrestricto de fuego combinado con el pastoreo fueron las principales causas de los cambios en el régimen natural de fuego ocurridos a partir fines del siglo XIX y principios del siglo XX (Morello y Saravia Toledo 1959, Sarmiento, 1963, Morello 1970, Morello y Adámoli 1973, Adámoli *et al.*, 1972 y 1990).

Estos disturbios generaron arbustales y bosques secundarios, con escasa cantidad de combustible fino y poca posibilidad de ser quemados (Sarmiento, 1963 Renolfi, 1993; Kunst *et al.*, 2003). Evidencia sobre la presencia de mayor proporción de comunidades herbáceas, y por ende de fuego proviene de distintos ámbitos. Así, descripciones de algunos tipos de suelos de la región indican que los mismos se desarrollaron bajo cobertura importante de gramíneas (Zuccardi y Fadda, 1971). Otra evidencia la suministran testimonios y relatos de antiguos viajeros (ver Cap. 1, este libro, Moussy 1853, citado por Aceñolaza *et al.*, 1987) y la contradicción entre topónimos e imágenes antiguas de la región y situación actual (Morello, 1970).

A fines del siglo XX, el abandono de las estancias, la disminución de la carga animal y la aplicación irracional de quemados para producir el rebrote de los pastos hicieron aumentar nueva-

mente la frecuencia de fuego: En la década de 1990 más de 100.000 ha se quemaron en la zona suroeste de Santiago del Estero (Monti comunicación personal). En la actualidad, la introducción de gramíneas subtropicales del género *Panicum* puede traer aparejado un cambio profundo en el régimen de fuego, debido a su gran potencial de producción de materia seca (Williams y Baruch, 2000, Platt y Gottschalk, 2001).

4. El fuego en sabanas y pastizales

Un efecto general del fuego en comunidades herbáceas es controlar la invasión de leñosas y mantener el paisaje de sabana y pastizal (Morello y Adámoli, 1973). También produce cambios menos visibles pero sí importantes en el ciclo de nutrientes, la presencia/ausencia de especies y el equilibrio entre gramíneas y latifoliadas (González *et al.*, 2002, Kunst *et al.*, 2003). Algunas características sugieren que estas comunidades son fuego - dependientes. El follaje de *Elionorus muticus*, gramínea dominante en las sabanas del sector central de la región, es abierto, fino y contiene terpeno citral lo que le otorga gran inflamabilidad (Burkart, 1969).

Brown (2000) propone una clasificación de los regímenes de fuego en función de su severidad. De acuerdo a la misma, los pastizales y sabanas de la región chaqueña poseen un régimen de fuego tipo 'reemplazo de la comunidad', ya que el fuego elimina toda la parte aérea de la vegetación presente, cambiando sustancialmente su composición botánica durante un lapso variable de tiempo. El 'pastizal de quemados', un tipo de pastizal del Chaco occidental donde predominan los géneros *Trichloris*, *Setaria* y *Digitaria* es totalmente 'fuego dependiente' ya que se origina en los claros causados por los incendios de bosques (Morello y Saravia Toledo, 1959; Morello y Adámoli, 1973).

A nivel de especie, la información sobre efecto del fuego es fragmentaria. Kunst *et al.* (2003) indican que luego de un fuego se incrementa la diversidad α del estrato herbáceo de sabanas de *Elionorus muticus*. Especies anuales, especialmente leguminosas herbáceas pertenecientes a los géneros *Indigofera*, *Rynchosia* y *Desmanthus*, necesitan aparentemente la apertura del canopeo producida por el fuego para poder germinar y cumplir su ciclo. Algunas gramíneas, como *Elionorus muticus* (aibe) florecen profusamente sólo después de un fuego (Kunst, observación personal) y otras como *Heteropogon contortus*, presente también en estas sabanas, necesitan de este fenómeno para perdurar en el tiempo (Tohill *et al.*, 1969).

Renolfi (1993) informa que la interacción fuego y sequía reduce la cobertura de pastos de la sabana más que el fuego en sí mismo.

5. El fuego en bosques y arbustales

El encendido de bosques y arbustales no es tan fácil como en sabanas y pastizales y se produce generalmente de manera indirecta a través de especies con follaje muy inflamable como *Schinus spp* (molle), *Aloysia spp*, *Larrea divaricata* (jarilla), la palmera *Trithrinax campestris* que suelen ubicarse en los ecotonos entre bosques y pastizales (Tortorelli, 1947, Morello y Adámoli, 1973, Kunst obs. personal). y forman escaleras de combustible por donde el fuego asciende a las copas.

El régimen de fuego de bosques y arbustales podría definido como 'mixto', produciéndose con poca frecuencia fuegos intensos de reemplazo total (Tálamo, 2000) y otros, más frecuentes, de reemplazo parcial de la comunidad (Brown, 2000). La abundancia de combustible fino y medio, sumado a la presencia de componentes inflamables (taninos, gomas y terpenos) determinan, junto a las condiciones ambientales, el tipo de incendio.

Existen antecedentes puntuales referidos a las especies leñosas nativas más representativas del Chaco, tratados en otro capítulo de este libro (Bravo *et al.*, Cap. 6). El fuego produce la muerte de la estructura aérea de *Acacia aroma* y otras especies arbustivas, debido principalmente al escaso desarrollo de fustes y ramas. Sin embargo, no elimina completamente a los ejemplares, aunque sí reduce su cobertura (Kunst *et al.* 2000). Esto se debe a que las leñosas poseen yemas ubicadas en la zoria próxima al cuello, debajo del suelo que le permiten rebrotar y reconstruir la canopia. El fuego aplicado con una frecuencia e intensidad adecuadas, no elimina las leñosas, sino las que las 'controla'. Según Wright y Bailey 1982 las especies del género *Prosopis* tendrían un comportamiento similar.

Las comunidades puras de *Trithrinax campestris* estarían asociadas a fuegos frecuentes (Luti *et al.*, 1979). En sectores más húmedos del Chaco *Trithrinax biflabellata* genera incendios de gran intensidad y severidad (Morello y Adámoli, 1973).

5.1 Efecto del fuego sobre el suelo

Los efectos generales del fuego sobre suelos de la región chaqueña se corresponden a los observados en suelos de otras regiones y está aparentemente asociado al régimen de fuego. Gonzalez *et al.*, (2002) informan que en una sabana sometida a una frecuencia de fuegos 'normal', estimada en fuego cada 3-4 años no se observa disminución del carbono y nitrógeno orgánicos totales del suelo con respecto a áreas no quemadas. Si existe diferencia con áreas quemadas todos los años, donde se observa una disminución significativa de estos atributos del suelo (Gonzalez *et al.*, 2002).

6. Reflexiones finales

El ambiente chaqueño posee características que lo hacen 'proclive' al fuego. El clima, caracterizado por inviernos secos y fríos y primaveras secas y calurosas reúne las condiciones ambientales necesarias para la ocurrencia de incendios. A un mayor nivel de percepción, el paisaje chaqueño, compuesto por sabanas y pastizales alternando con bosques y arbustales determina por sí mismo un modelo de combustible efectivo para la iniciación y propagación del fuego. El rol del fuego en el ecosistema chaqueño sería interactuar con esas características climáticas y estructurales para mantener el equilibrio entre comunidades herbáceas y leñosas. El régimen de fuego de sabanas y pastizales sería de reemplazo total de la comunidad, mientras que en comunidades leñosas sería mixto. La intensidad y severidad de los fuegos puede muy alta, debido a las características químicas y altas cargas de combustible.

La marcha del clima, en años previos y aquellos en los que ocurren las quemadas, determina la carga de combustible y la intensidad de los incendios. Estos reemplazan total o parcialmente las comunidades, produciéndose, en ambientes dominados por herbáceas, un retorno a la comunidad de partida en un período de tiempo que no suele exceder los 5 años. La estabilidad de las comunidades de bosques y arbustales en relación al fuego representa una línea de investigación futura indispensable para la comprensión del papel que tiene este disturbio como modelador del paisaje.

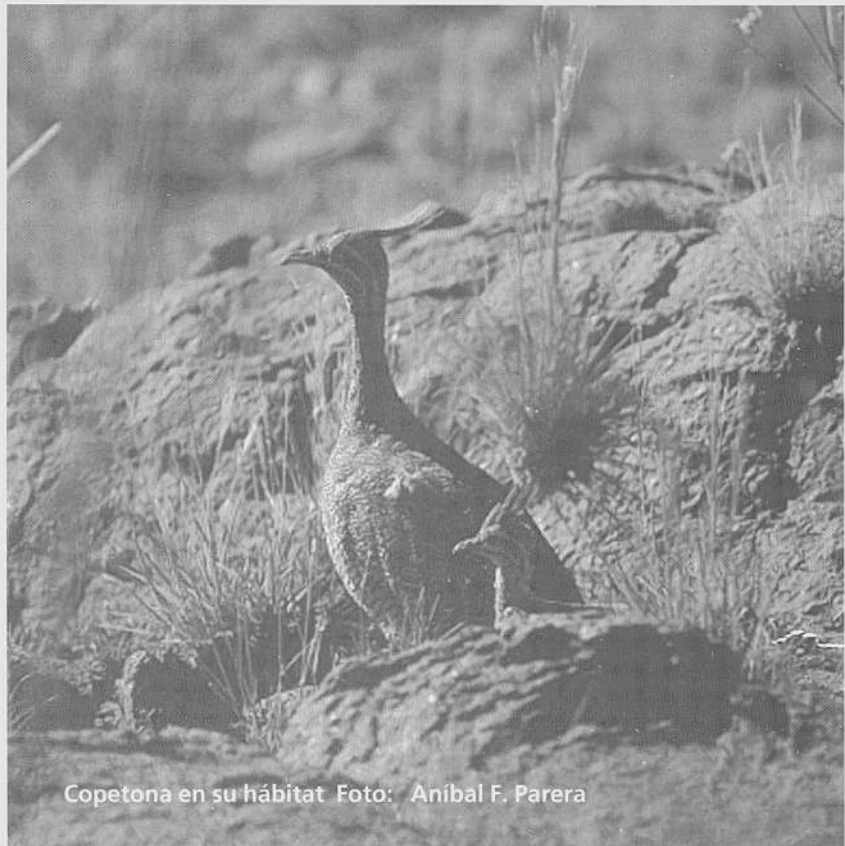
7. Bibliografía

- Aceñolaza F., H. Miller y F. Toselli. 1987. La geología de la sierra de Ancasti. Munsterche Forschungesur Geologie und Paleontologie, Heft 59.
- Adámoli J., E. Sennhauser, J. Acebo y A. Rescia. 1990. Stress and disturbance: vegetation dynamics in the dry Chaco region of Argentina. *J. Biogeography* 17: 491-500.
- Adámoli J., R. Neumann, A. R. de Colina y J. Morello. 1972. El Chaco aluvional salteño. *RIA Serie* 3, 9: 165 - 237.
- Agee J. 1993. Fire ecology of Pacific northwest forests. Island Press, Covelo Ca.
- Barrionuevo S. 1997. Inventario de combustibles en el bosque nativo de la región chaqueña occidental (Argentina). Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Univ. Nac. de Santiago del Estero.
- Bordón A. 1983. Comentarios e ideogramas sobre la vegetación de la Pcia del Chaco emergentes de una muestra de descripciones de vegetación en relación a series de suelo. *Bol. N° 86, INTA EERA Saénz Peña*.
- Bordón A. 1993. Notas sobre incendios en la región chaqueña con base en una encuesta para información sintética sobre incendios de campos. p. 69-74. In: C. Kunst, A. Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo (de.): Memoria Seminario-Taller Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados. 180 p. INTA EEA Sgo del Estero, Argentina.
- Bravo S., C. Kunst, A. Giménez y A. Moglia. 2001. Fire regime of an *Elionorus muticus* (Spreng.) O. Kuntze savanna, western Chaco region, Argentina. *International Journal of Wildland Fire* 10:65-72.
- Brown J. 2000. Introduction and fire regimes. Cap. 1, p1-7. En: J. Brown y J. Kapler-Smith: *Wildland Fire in Ecosystems: Effects of fire on flora*. USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station GTR RMRS GTR 42, Vol. 2. 257 p.
- Bruniard E. 1978. El gran Chaco argentino. Un ensayo de interpretación geográfica. Instituto de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nac. del Nordeste, Geografía 4: 1-259.
- Bucher E. 1982. Chaco and Caatinga. South American arid savannas, woodlands and thickets. En: B. Huntley y B. Walker: *Ecology of tropical savannas*. Ecological studies 42: 48-79.
- Burkart A. 1969. Flora ilustrada de Entre Ríos Parte II: Gramíneas. INTA. Colección Científica Tomo VI, parte 2. Bs. As.
- Cabido M. y M. Zak. 1999. Vegetación del norte de Córdoba. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Naturales de Córdoba, Córdoba.
- Defossé G. 1996. Introducción a la Ecología de Fuego. Cap. 1, p. 1- 8, En : C. Kunst y F. Moscovich. Fuego prescripto: Introducción a la Ecología de Fuego y Manejo de Fuego Prescripto. INTA-UNSE.
- Devoto F. y M. Rothkugel. 1945. Aplicaciones de las maderas argentinas y demás productos forestales. Pub. Misc. 186, Dirección de Informaciones, Ministerio de Agricultura de la Nación.
- Glitzenstein J., W. Platt y D. Streng. 1995. Effects of fire regime and habitat on tree dynamics in north Florida longleaf pine savannas. *Ecol. Monographs* 65: 441-476.
- González C., G. Studdert, C. Kunst y A. Albanesi. 2002. Comportamiento de algunas propiedades del suelo en una sabana del Chaco semiárido occidental bajo distintas frecuencias de fuego. *Ciencia del Suelo* 19: 92 - 100.
- Keeley J. 1987. Role of fire in seed germination of woody taxa in California Chaparral. *Ecology*: 68: 2-6
- Kunst C., S. Bravo, F. Moscovich, J. Herrera, J. Godoy y S. Vélez. 2000. Control de tusca (*Acacia aroma* Gill ap. H. et A.) mediante fuego prescripto. *Rev. Arg. de Producción Animal* 20: 199-213.
- Kunst C., S. Bravo, F. Moscovich, J. Herrera, J. Godoy y S. Vélez. 2003. Fecha de aplicación de fuego y diversidad de herbáceas en una sabana de *Elionorus muticus* (Spreng) O. Kuntze. *Rev. Chilena de Historia Natural*. (En prensa.)
- Lopez de Casenave J., J. Pelotto y J. Protomastro. 1995. Edge-interior differences in vegetation structure and composition in a Chaco semiarid forest, Argentina. *Forest Ecology and Management* 72: 61-69.
- Luti R., M. Solís, F. Galera, M. Muller de Ferreyra M., M. Berzal, M. Nores, M. Herrera y J. Barrera. 1979. Vegetación. p. 279-368. En: J. Vázquez, R. Miatello y M. Roqué: *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Ed. Boldt, Buenos Aires.
- Melillo A. 1937. Ensayo sobre el poder calorífico de las maderas argentinas. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Tierras, Sección Técnica de Bosques. 55 p. (Dactilografiado).
- Morello J. y C. Saravia Toledo. 1959. El bosque chaqueño I y II. *Rev. Agronómica del Noroeste Argentino* 3: 51-81.

- Morello J. y J. Adámoli. 1973. Las grandes unidades de vegetación y ambiente de la Pcia del Chaco. INTA Serie fitogeográfica 13. Bs. AS.
- Morello J. 1970. Modelo de relaciones entre pastizales y leñosas colonizadoras en el Chaco argentino. IDIA 276: 31-52.
- Pérez H. 1992. Factores morfofisiológicos en el manejo de forrajeras. p. 32-55. Jornadas de Actualización Técnica en Prod. Bovina en Areas de Secano. INTA-CIASE.
- Platt W. y R. Gottschalk. 2001. effect of exotic grasses on potential fine fuel loads in the groundcover of south Florida slash pine savannas. *International Journal of Wildland Fire* 10:155-159.
- Renolfi R. 1993. Dinámica de una sabana de *Elionorus muticus* Spreng. (aibe) sometida a fuegos fortuitos. p. 171-176. In: C. Kunst, A. Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo (de.): Memoria Seminario-Taller Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados. 180 p. INTA EEA Sgo del Estero, Argentina.
- Rothermel R. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. U. S. D. A. Forest Service General Tech. Report INT-143.
- Ryan K. and B. Steele. 1989. Cambium mortality resulting from broadcast burning in mixed conifer shelterwoods. p. 108 - 116. Proc. 10th Conference on Fire and Forest Meteorology. Ottawa Canada.
- Sarmiento G. 1963. Las comunidades vegetales del Chaco semiárido santiagueño. Tesis. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, Univ. Nac. de Buenos Aires.
- Stuart Chapin F., M. Torn y M. Tateno. 1996. Principles of ecosystem sustainability. *American Naturalist* 148: 1016-1037.
- Tálamo A. 1999. Diversidad de plantas leñosas y disturbios antrópicos en el bosque subtropical semiárido. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Argentina. ii+230 pp.
- Tortorelli L. 1947. Los incendios de bosques en la Argentina. Ministerio de Agricultura de la Nación, Dirección Forestal, Buenos Aires. 235 p.
- Trabaud L. 1992. Community dynamics after disturbance: short-term change and long-term stability. *Ekistics* 356/357: 287-292.
- Trollope W. S. W. 1984. Fire in savanna. Cap. 7. p. 149-197. In: P. de V. Booysen and N. Tainton (eds): *Ecological effects of fire in South African Ecosystems*. Springer Verlag. Berlin. 426 p.
- Vélez S. 1997. Informe Poder Calorífico Superior de distintos tipos de combustibles. (dactilografiado) Inst. de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Univ. Nac. de Sgo del Estero.
- Williams D. y Z. Baruch. 2000. African grass invasion in the Americas: ecosystem consequences and the role of ecophysiology. *Biol Invasions* 2:123-140.
- Wright H. y A. Bailey. 1982. *Fire ecology in the United States and Canada*. J. Wiley and Sons, N. Y., 501 p.
- Zuccardi R. y G. Fadda. 1971. Los suelos del área de la sierra de Guasayán (Santiago del Estero). *Rev. Agr. del Noroeste Argentino* 273-307.

Efectos del fuego sobre la fauna silvestre

Aníbal F. Parera¹



¹ Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires. E-mail: pastizal@vidasilvestre.org.ar

1. Introducción

El fuego es un elemento natural y espontáneo en la naturaleza, cuya frecuencia, intensidad y predictibilidad resultan variables en los distintos tipos de escenarios naturales (Kozłowski y Ahlgren, 1974, Wright y Bailey 1982, Adámoli, 1993, Neiff, 2001). Dicha variabilidad es función de parámetros como:

- la acumulación de biomasa y necromasa combustibles (que a su vez se rige por la productividad primaria, el ritmo de herbivoría y el desecamiento),
- la probabilidad de ocurrencia de fenómenos iniciadores de la ignición (por ejemplo, tormentas eléctricas),
- las condiciones climáticas y estacionalidad y
- la composición específica de las comunidades vegetales, con especies más o menos combustibles, debido a sus características físicas y químicas, adquiridas muchas veces en el curso de la evolución según su relación con el fuego como agente seleccionador (Boó *et al.*, 1997, Burns 1993, Busso 1997, Hackmey y de la Cruz 1981, Kitzberger *et al.*, 1992, 1997, Kitzberger y Veblen 1997; Peláez *et al.*, 1997, Rodrigues 1996, Veblen y Markgraf, 1988; Veblen *et al.*, 1999).

La mayor parte de los pastizales y arbustales de regiones tropicales, subtropicales y templadas como así también ciertos tipos de bosques han sido y son fuertemente modelados por el fuego. En la Argentina, los pastizales y pajonales del Chaco Húmedo, los montes y pastizales del Espinal, los matorrales y fachinales de la región del Monte y buena parte de los bosques del norte de la Patagonia han sido modelados por la intervención del fuego, que también se halla presente en otros tipos de ecosistemas, aunque con menor importancia o participación (Adámoli 1993, Boó *et al.* 1997, Morello y Adámoli 1974, Marone 1990, Veblen *et al.* 1999, Sanchez y Lazzari 1999, Figuras 1 y 2).

El fuego es también un elemento aportado de manera artificial por el hombre, accidental o intencionalmente, con distintas finalidades (caza de fauna silvestre, desbroce con diferentes objetivos, habilitación de tierras boscosas para el cultivo, obtención de pasturas tiernas para el ganado e incluso la disminución de la biomasa combustible para evitar la ocurrencia de fuegos mayores). En su función de asistencia al hombre de campo, el fuego puede parecer -si es considerado en forma ligera- un elemento de manejo sumamente económico y sencillo. Pero debe considerarse que, al mismo tiempo, puede provocar enormes pérdidas y conflictos si no es administrado convenientemente. El manejo responsable del fuego (quemadas

prescriptas) requiere de pericia, experiencia, equipamiento, cierta infraestructura y condiciones ambientales favorables, lo que en su conjunto conspira contra la primitiva idea de elemento de manejo económico (Kunst, 1993, Veblen *et al.*, 1999, Sipowicz, 1993; Adámoli, 1993).

El hombre actúa como supresor del fuego bajo diferentes circunstancias. Por ejemplo, en sectores de cultivos forestales (por temor a pérdidas de bosques implantados maduros), en áreas forestales habitadas por comunidades campesinas o suburbanas y en áreas naturales protegidas. Uno de los efectos más visibles que trae aparejada la supresión artificial del fuego en algunos ambientes que han evolucionado con cierta intervención de eventos de combustión naturales, es la acumulación excesiva de biomasa y necromasa combustibles lo que puede traer como consecuencia un detenimiento general en el crecimiento vegetativo, muerte de plantas y sobremaduración de comunidades. Como consecuencia de todo lo anterior se llega al empobrecimiento en la riqueza y diversidad de especies vegetales y animales (Adámoli 1993; Dudley 1997; Wright y Bailey 1982).



Figura 1: Fuego nocturno de grandes llamas y arrojado de pavezos en pajonales húmedos de cañadas del Chaco Húmedo.



Figura 2: Aspecto de la vegetación de Monte con 24 horas de quemada en la provincia de La Pampa.

Una condición inevitable de la supresión del fuego en ambientes pirófilos es el aumento de probabilidad de ocurrencia de fuegos más severos, con mayores temperaturas de lo habitual y consecuencias más marcadas sobre la biodiversidad, la infraestructura o la productividad de sistemas agropecuarios (Adámoli *com. pers.*; Kunst *com. pers.*; Sipowicz 1993; Parera, 2001).

En definitiva, el hombre interviene de manera muy clara y determinante sobre la participación del fuego en los distintos ecosistemas, aumentando su recurrencia en unos sitios y disminuyéndola en otros. Por ejemplo, en malezales del norte de la provincia de Corrientes (valle del río Aguapey) la crianza de vacunos alimentados con pasturas naturales depende fuertemente del rebrote posterior a las quemadas, debido a la veloz acumulación de sílice en los tejidos de las gramíneas dominantes que convierten a las varas maduras en muy poco palatables. Para favorecer el rebrote tierno y nutritivo, el personal de los campos practica quemadas en el otoño (para favorecer la condición de las pasturas en la época más crítica: el invierno) y en el invierno tardío (buscando el crecimiento de especies altamente nutritivas en la primavera). La recurrencia de fuegos sobre un mismo sector es en muchos casos anual y hasta puede ocurrir dos veces en una misma estación de crecimiento (cuando las lluvias de primavera y verano permiten que un pastizal quemado en el invierno acumule suficiente biomasa combustible para el próximo otoño). El método de manejo de los ganaderos más proclives a utilizar el fuego en esta zona consiste en identificar las condiciones apropiadas para que pueda iniciarse el fuego y propagarse con-

venientemente. Si dichas condiciones se presentan entonces se quemará siendo la recurrencia de estos eventos de fuego mayor a la natural (Leguiza y Vizcaychipi, *com. pers.*, Carnevali 1994).

Por el contrario, las campañas de prevención de incendios forestales o rurales, la disposición de grandes extensiones de cortafuegos o la intervención de brigadas de combate especializadas, ejemplifican situaciones de supresión del fuego a las que muchas personas se encuentran habituadas.

A pesar de que una buena parte de la sociedad pondera los efectos negativos del fuego sobre la fauna silvestre su intervención introduce cambios que afectan de manera positiva a unas especies y de manera negativa a otras, sea durante el evento mismo de la combustión o en etapas posteriores (Bock y Bock 1988, Braithwaite 1987, Carlson *et al.*, 1993, Gabrey y Afton 2000, Gordon 2000, Griffiths y Christian 1996, Jaksic 1992, Koenen y Koenen 2000, Kozłowski y Ahlgren 1974, Lewis *et al.* 1990, Nasca 2001, Reynolds y Krausman 1998, Rohrbaugh *et al.*, 1999, Silveira *et al.* 1999, Vieira 1994, Wilhelm 1968, Woinarski y Recher 1997, Woinarski *et al.*, 1999, Wright y Bailey 1984). Debe tenerse en cuenta que los efectos del fuego sobre la fauna son, en gran medida, indirectos o de un grado siguiente con respecto a los efectos del fuego sobre la vegetación, ya que la combustión en sí misma ocurre casi exclusivamente sobre la última. Salvo en casos de daños físicos directos sobre los animales, la fauna responde a las consecuencias que la quema de la vegetación trae aparejado (movimientos espontáneos para evitar daños físicos, cambios en el hábitat, disponibilidad de refugios y alimento, etc.).

La Tabla 1 muestra una propuesta preliminar de efectos positivos y negativos sobre la fauna silvestre, en dos momentos diferentes (durante la propia combustión y en etapas subsiguientes).

2. Efectos durante la combustión

El fuego puede acarrear la muerte de animales por quemaduras, asfixia o a raíz de una mayor vulnerabilidad mientras estos se desplazan

Tabla 1. Efectos positivos y negativos del fuego sobre la fauna silvestre.

	Positivos	Negativos
Durante el fuego (vegetación ardiendo)	Carnívoros/insectívoros: disponibilidad instantánea de alimentos (presas disminuidas o confundidas, o carroña).	General: Muerte por daños físicos. Pérdidas de nidos, sitios de nidificación, dormideros o camas de cría.
Luego del fuego (vegetación en crecimiento)	Herbívoros: Disponibilidad de rebrotes tiernos y especies vegetales palatables. Carnívoros/insectívoros: Disponibilidad de presas. General: Habilitación de nichos y efectos positivos de liberación de competencia con otras especies.	General: Pérdida de refugio (falta de protección frente a adversidades climáticas riesgo de depredación). Constricción de nichos y aparición de nuevos competidores.

para alejarse del peligro (accidentes y exposición a predadores). Esta última característica ha sido utilizada por cazadores humanos primitivos para movilizar grandes manadas hacia emboscadas y es también utilizada en la actualidad, por ejemplo en los esteros del Iberá (Corrientes), donde los «mariscadores» (cazadores) utilizan el fuego para dar caza a grandes mamíferos como el ciervo de los pantanos (*Blastocerus dichotomus*) o el carpincho (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Figura 3).

En grandes incendios rurales de la provincia de San Luis (Fea, *com. pers.*), se han observado con cierta frecuencia ñandúes (*Rhea americana*), copetonas (*Eudromia elegans*), y liebres europeas (*Lepus europaeus*) que escapan del fuego con su plumaje o pelaje humeante o en llamas. Esta situación es bien conocida por quienes intentan controlar el fuego ya que algunos animales «encendidos» pueden ocasionar trastornos cuando trasladan consigo el fuego a varios centenares de distancia de donde la situación parecía bajo control, lo que puede significar el inicio de un nuevo foco.

En el Parque Nacional Emas (Brasil), se evaluó el impacto de grandes episodios del fuego sobre la fauna de grandes mamíferos (Silveira *et al.* 1998). Este es el área protegida más ex-

tensa del Cerrado brasileño (132.000 hectáreas), en un 97% ocupado por pastizales y manchones de Cerrado (arbustales), ambientes altamente favorables para el desarrollo de fuegos. Un solo episodio de 4 días de duración ocurrido en 1994, provocó una gran mortandad de osos hormigueros (*Myrmecophaga tridactyla*), que fue estimada en un mínimo de 332 individuos (posiblemente el 40% de la población total en el parque), sobre la base de un muestreo en el que se hallaron 14 ejemplares muertos. Este mismo episodio afectó, pero en menor medida, a otras especies de mamíferos que fueron hallados muertos o gravemente heridos (dos tatú carreta, un pecarí labiado, un tapir, un zorrino y un yaguarundi). Todas las especies mencionadas

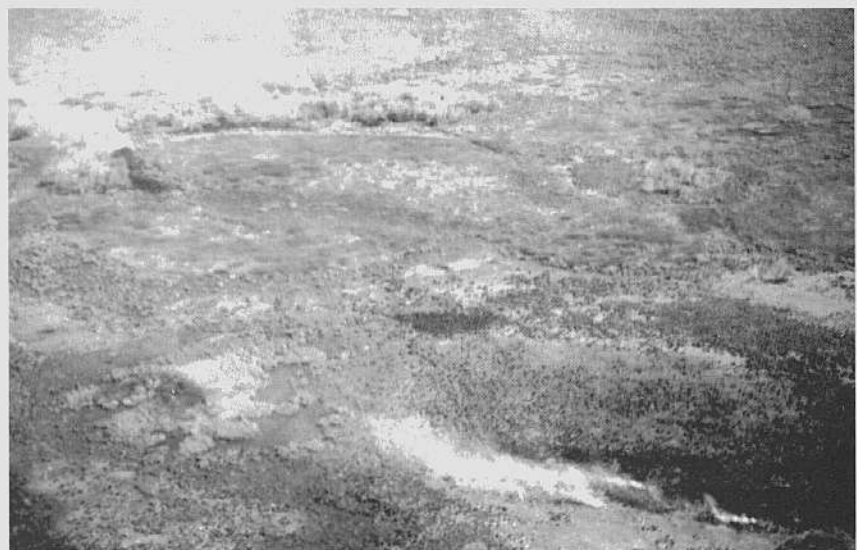


Figura 3: Varios focos de fuego iniciados por cazadores en los esteros del Iberá (Corrientes).

habitan la Argentina en selvas, bosques y sabanas del norte del país, sometidas en mayor o menor medida a eventos de fuego.

El sentido común permite sospechar diferencias en cuanto a la vulnerabilidad a daños físicos de distintos grupos de especies animales según algunas de sus características. La Tabla 2 propone algunas características asociadas a la vulnerabilidad a sufrir daños físicos en eventos de fuego.

El efecto del fuego sobre la fauna de aves y mamíferos en pajonales de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) fue estudiado por Comparatore *et al.* (1996), quienes señalaron la mayor vulnerabilidad de mamíferos de desplazamiento lento (armadillos, zorrinos, comadreja) frente a aquellos de desplazamiento veloz y de los mamíferos en general con respecto a las aves.

Los efectos del fuego sobre las nidadas de aves (y también camas reproductivas o nidos de mamíferos y en menor medida de otros vertebrados)

fueron mencionados por numerosos autores (Wright y Bailey 1984, Comparatore *et al.* 1996, Nasca 2001, Woinarski y Recher 1997). Aún cuando los ejemplares adultos y juveniles puedan desplazarse, huevos y pichones o crías pequeñas permanecen a merced de las llamas. Por ello resulta recurrente la recomendación de evitar el uso del fuego como herramienta de manejo en sitios críticos de nidificación o en épocas de reproducción activa.

Daños indirectos (no producidos por quemaduras, sino por los efectos de la contaminación provocada por el humo o la falta de oxígeno) han sido informados en algunas oportunidades. Por ejemplo, dos de los 14 osos hormigueros hallados muertos en el *Parque Nacional Emas* (Silveira *et al.* 1998) no presentaban ningún signo de daño directo de las llamas lo que hace presumir que murieron asfixiados. Estas situaciones podría ocurrir en interiores de troncos huecos (ocupados por murciélagos, marsupiales, etc.) y en algunas cuevas o galerías, cuando sus

Tabla 2. Condiciones que implican mayor o menor vulnerabilidad de la fauna silvestre a daños directos durante el fuego.

	Mayor Vulnerabilidad	Menor Vulnerabilidad
Medio de desplazamiento	Terrestre: mamíferos, reptiles, anfibios, aves no voladoras.	Aéreo, acuático, subterráneo: aves, fauna acuática en general, fauna fosorial
Velocidad de desplazamiento	Lento: edentados, marsupiales, ciertos mustélidos, ciertos reptiles (tortugas), ofidios	Rápido: cérvidos, la mayoría de los carnívoros, ciertos reptiles (lagartos)
Tamaño corporal	Chico	Grande
Condición corporal	Pelaje o plumaje abundantes (más combustible): oso hormiguero, ñandú, aves	Pelaje escaso, placas, escamas, piel húmeda (menos combustible): Edentados, anfibios, reptiles, tortugas
Sentidos para la detección temprana del fuego	Escasa capacidad olfativa o visual	Mayor capacidad olfativa o visual
Tamaño de territorios o áreas de acción (Conocimiento de vías de escape o áreas seguras)	Menor	Mayor

habitantes podrían quedar atrapados al ser afectados por el humo. Un ejemplo notable en este sentido es el caso de los incendios forestales de Indonesia en el año 1997, cuando más de 40.000 personas sufrieron insuficiencias respiratorias aún a muchos kilómetros de distancia de los sitios quemados en Java, Borneo, Sulawesi, Irian Jaya y Sumatra (Dudley, 1997). Los episodios de fuego en cuestión fueron reconocidos como unos de los más importantes de la historia afectando bosques húmedos tropicales. Sin dudas, esta situación fue trasladada también a la fauna silvestre en sitios no alcanzados por las llamas.

Los animales movilizados para escapar del fuego, se encuentren o no físicamente disminuidos (cansados, intoxicados, dañados, etc.) pueden quedar expuestos a accidentes o situaciones imprevistas (enredos en alambrados, atropellamientos con vehículos, dificultades para atravesar cuerpos de agua, etc.).

Para algunos predadores esta es una situación favorable. Algunas especies de rapaces parecen reconocer la disponibilidad de presas en las inmediaciones del fuego, y acuden a los sitios donde las quemadas ocurren aún posiblemente desde sitios distantes. De la Peña (1980) relata esta situación para el caso de rapaces (en particular el aguilucho de cabeza negra *Buteo albicaudatus* y el aguilucho colorado *Heterospizias meridionalis*) en la provincia de Formosa. Parera *et al.* (1993) se refieren a un caso similar en la provincia de Corrientes, involucrando además de *H. meridionalis*, al chimango (*Milvago chimango*), el caracolero (*Rosthramus sociabilis*) y al carancho (*Polyborus plancus*).

3. Efectos en etapas posteriores a la combustión

3.1. Cambios en la fisonomía de la vegetación

La eliminación parcial o total de la cubierta vegetal es uno de los primeros efectos del fuego. Esta situación puede afectar negativamente a especies altamente dependientes de la arquitectura de la vegetación, sea por su condición de refugio o por sus costumbres y aptitudes asociadas a moverse entre las plantas. Esto resulta evidente en los pajonales de *Paspalum quadrifarium* de la depresión del salado, donde la remoción de los pajonales altos implica la disminución de ciertas especies de aves que allí habitan como el verdón (*Embernagra platensis*), la ratona aperdizada (*Cistothorus platensis*), el pecho amarillo común (*Pseudoleistes virescens*), el espartillero pampeano (*Asthenes hudsoni*) y el espartillero enano (*Spartonoica maluoides*) (Comparatore *et al.*, 1996).

Como contrapartida, en este mismo estudio, otras especies de aves típicas de pastizales cortos del ecotono o bien oportunistas como el tero (*Vanellus chilensis*), la perdiz común (*Nothura maculosa*), las cachirlas (*Anthus sp.*), la lechucita de las vizcacheras (*Athene cunicularia*) entre otras, accedieron a las áreas quemadas. En definitiva, el efecto inmediato del fuego en este sistema de pastizales fue un recambio en la composición de las especies detectadas. Cabe destacar en este caso que los pajonales de paja colorada constituyen una situación relictual en una de las regiones más intensamente modificadas por la actividad agropecuaria y que las especies de aves asociadas a los pajonales altos tienden a encontrarse amenazadas o en regresión, frente a aquellas de pastizales cortos (Comparatore *et al.*, 1996).

Cambios en la arquitectura de la vegetación producto del fuego pueden significar la expansión territorial de algunas especies en escala regional. Un caso extremo de esta situación sería la creciente detección de *A. cunicularia* en el norte de la provincia de Misiones, donde la selva paranaense (un hábitat en absoluto inviable para la especie), es reemplazado por praderas o cultivos mediante la técnica de tumba y quema.

3.2. Nuevos recursos alimenticios disponibles

Las aves que acuden a sitios recientemente quemados responden a una nueva oferta de alimentos. Woinarski *et al.* (1999) encontraron en el norte de Australia que ciertas aves semilleras acceden a granos que no estaban disponibles luego de que el fuego elimina la cobertura. Algo similar puede ocurrir con aves insectívoras cuya técnica de caza es atrapar insectos en el suelo desde una percha relativamente elevada. Este es el caso del yetapá de collar (*Alectrurus risora*) estudiado por Di Giacomo y Di Giacomo (2001) en pastizales de Chajapé (*Imperata brasiliensis*) de la reserva natural privada El Bagual (Formosa) donde los censos realizados luego de quemadas arrojan densidades muy superiores a los censos sobre pastizales maduros.

Los resultados de estas observaciones permiten revisar el temor instalado por Birdlife International (2000) a cerca del posible impacto negativo del fuego sobre la especie, considerada en la categoría vulnerable. La existencia de bandadas de yetapás en pastizales quemados en procura de insectos, podría explicarse por mejores condiciones de visibilidad y acceso a sus presas o bien, en etapas algo más avanzadas de la sucesión vegetal, a la existencia real de una mayor densidad de insectos fitófagos producto de la disponibilidad de rebrotes tiernos (Di Giacomo, *com pers.*).

3.3. Cambios en las comunidades

Cabe mencionar, a modo de ejemplo de las diferentes reacciones que pueden experimentar las especies de acuerdo a sus costumbres o necesidades de hábitat, que una especie afín a la anterior (*Alectrurus tricolor*, yetapá chico) parece desaparecer de los pastizales quemados del Cerrado brasileño (Cavalcanti 1988). Esto lleva a relacionar el uso del fuego en pastizales y malezales del norte de la Mesopotamia argentina, con la aparente total desaparición de esta especie acaecida en las últimas décadas.

Numerosos estudios relacionaron la complejidad, riqueza, diversidad y otros parámetros de comunidades de aves en respuesta al fuego, especialmente en pastizales, bosques y matorrales de los Estados Unidos, Canadá, Australia y en mucho menor medida en Sudamérica y la Argentina (Comparatore *et al.*, 1996, Gabrey y Afton 2000, Gordon 2000, Jaksic 1992, Koenen y Koenen 2000, Marone 1990, Ordano *et al.* 2000, Rohrbaugh *et al.*, 1999, Woinarski *et al.*, 1999).

En términos generales, los resultados de estos estudios dependen de la escala de aproximación con que se observan los resultados. El fuego, en primera instancia, provoca una drástica simplificación del ambiente sobre el cual actúa. Parámetros como la riqueza y diversidad no suelen cambiar notoriamente aunque sí la composición específica de los ensambles de organismos que ocupan el terreno. Sin embargo, en una escala que incorpora el entorno no quemado, el fuego aporta heterogeneidad y diversidad en el paisaje, con el consiguiente aumento en parámetros de riqueza y diversidad (Bock y Bock 1988, Reynolds y Krausman 1998). Esto es más evidente cuando el paisaje contiene pequeños parches quemados en diferentes momentos, con distintas etapas sucesionales de la vegetación (Wright y Bailey, 1984, Comparatore *et al.*, 1996, Woinarski *et al.*, 1999).

Para el caso de micromamíferos en la etapa inmediata a la ocurrencia del fuego, esta situación puede ser diferente y a menudo los fuegos provocan la inmediata caída de todas o casi todas las especies de un determinado sector. Esto puede explicarse porque los animales tuvieron que moverse del sector para evitar morir en el fuego, siendo las posibilidades de retorno más limitadas que en el caso de las aves e inversamente proporcional al tamaño del parche quemado (Ojeda 1989, Viera 1994). Marconi y Kravetz (1986) estudiaron la situación en el Parque Nacional El Palmar (Entre Ríos) encontrando que -por ejemplo-, el ratón hocicudo (*Oxymycterus rufus*) tiende a desaparecer por largos periodos (incluso hasta ocho años) superado por la capacidad colonizadora de congéneres como los ratones de campo (*Akodon azarae*)

que acuden a alimentarse de los rebrotes tiernos en tiempos mucho más cortos. Nasca (2001) encontró que pequeñas parcelas de *Spartina densiflora* quemadas experimentalmente para evaluar la respuesta de la vegetación, eran insistentemente visitadas por cuisas (*Cavia aperea*) en busca de los nutritivos rebrotes.

El caso de los micromamíferos de los pastizales asociados a palmares de yatay en Colón (Entre Ríos) permite la comparación con un estudio de la comunidad de aves bajo distintas situaciones de fuego, en pastizales asociados a la misma especie de palmera en la provincia de Corrientes (Parque Nacional Mburucuyá). Ambos estudios fueron realizados sobre parches donde el fuego había operado temporadas atrás y los efectos sobre las aves en Corrientes parecen mucho menos evidentes que sobre los mamíferos en Entre Ríos (Ordano *et al.* 2000, Marconi y Kravetz 1986).

La fauna invertebrada asociada a la vegetación que se quema es sin lugar a dudas receptora del importante impacto del fuego. Sin embargo existen pocos estudios que abordan esta materia (Andersen y Muller 2000, Campalans 1984, García Villanueva 1992, Panzer y Schwartz 2000). En Corrientes Armúa de Reyes *et al.*, (s/f) encontraron que los órdenes *Hymenoptera* y *Coleoptera* se vieron favorecidos por el fuego en detrimento de *Orthoptera* y *Odonata*.

4. Manejo del fuego para la conservación de la fauna silvestre

El fuego ha sido aplicado al manejo de la vida silvestre en los últimos años, principalmente en los Estados Unidos, México, Canadá, Australia y África (Forde *et al.*, 1984, Wright y Bailey, 1984; Carlson *et al.*, 1993, Danckwerts *et al.*, 1993; Rasmussen *et al.*, 1983; Stander *et al.*, 1993), pero existe poca experiencia en este sentido en Sudamérica y la Argentina (Busso *et al.* 1993, Latta 1997, Latta *et al.*, 1993, Nasca 2001, Kunst y Godoy 2000). En nuestro país en los últimos años vienen realizándose experiencias puntuales de manejo del fuego en áreas protegidas con fines de conservación. La abundante experiencia en el uso de fuego vinculado al manejo ganadero ha permitido su aplicación al manejo de poblaciones de grandes herbívoros silvestres.

El venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*) ofrece un caso de estudio en la Argentina. La respuesta del venado a la disponibilidad de rebrotes de quema fue mencionada en numerosas oportunidades (Beade y Vila 1995,



Figura 4: Venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*) en rebrote de quema (malezales del valle del río Aguapey, Corrientes).

Parera *et al.* 1995, Parera y Moreno 2000, figuras 4 y 5). En particular la existencia de fuegos naturales o inducidos por el hombre es una constante en los cuatro escenarios que la especie habita en la Argentina (bahía Samborombón en Buenos Aires, pastizales de La Travesía en San Luis, pastizales del Aguapey en Corrientes, y Bajos Submeridionales en Santa Fe). Gravemente amenazada de extinción y con distribución geográficamente restringida, es posible que esta especie vea favorecida su supervivencia gracias al manejo del fuego y de otras prácticas tendientes a mejorar el forraje para el ganado, en los sitios muy marginales y poco productivos que habita.

En la reserva de vida silvestre *Campos del Tuyú*, ubicada en la Bahía Samborombón, cuyo objetivo principal es la preservación de *Ozotoceros bezoarticus*, el fuego y el pastoreo de la hacienda fueron excluidos durante años dentro de sus límites. El resultado fue la virtual desaparición de los venados, que comenzaron a hacer uso de campos cercanos, donde el uso del fuego o las altas cargas ganaderas instantáneas favorecían la disponibilidad de rebrotes y especies vegetales palatables, como las leguminosas del género *Melilotus*. En 1999 y 2000 se realizaron quemaduras experimentales en parcelas controladas

dentro de los límites de la reserva (Figura 6) para evaluar la respuesta del pastizal en función de los requerimientos del venado, las medidas de seguridad de las prácticas de quema y otros impactos sobre la biodiversidad. Se concluyó a partir de este estudio que las quemaduras de pequeños parches de vegetación, con fuegos en retroceso tanto en otoño como en primavera eran convenientes para alcanzar los objetivos de la reserva (Nasca 2001). La existencia

de un mosaico heterogéneo de parches quemados y otros sin quemar, permitiría mantener además la condición de refugio necesaria en la prevención de la predación (especialmente por parte de perros cimarrones). En el año 2001 la reserva comenzó con un programa de quemaduras prescritas para mejorar las condiciones de hábitat del venado, con resultados favorables (Beade com. pers.).

En los pajonales de *Paspalum quadrifarium* de la depresión del Salado (Buenos Aires), el fuego interviene posibilitando el manejo ganadero en un ambiente que, de otra manera, se vería agriculturizado con consecuentes pérdidas drásticas de la biodiversidad. Sin embargo, el inme-



Figura 5: Quemaduras en parches practicadas por los ganaderos en los Bajos Submeridionales de Santa Fe.



Figura 6: Práctica de quema experimental en Campos del Tuyú, con la finalidad de obtener mejoras en el hábitat del venado de las pampas.

diato sometimiento de los parches quemados a altas cargas ganaderas, parece atentar contra la recuperación de la vegetación, la conservación del suelo, la sostenibilidad del sistema y mantenimiento de la biodiversidad. Una de las es-



Figura 8: Palmer tratado con fuego (sotobosque abierto).

pecies de micromamíferos que sufría esta situación es el colicorto pampeano (*Monodelphis dimidiata*), cuya distribución parece limitada y bastante asociada a la situación relictual de este tipo de hábitat (Comparatore *et al.* 1996). De este modo el fuego tiene en los pajonales de paja colorada, una primera implicancia positiva, y una inmediata que no lo es y que podría mejorarse con adecuadas medidas de manejo (Comparatore *et al.*, 1996, Raffaele y Veblen 2001).

En la Reserva Ecológica Costanera Sur se han practicado quemas prescriptas para disminuir el nivel del combustible en el ambiente y evitar males mayores. Sin embargo luego de una etapa experi-



Figura 7: Palmar de yatay invadido por paraíso (*Melia azedarach*) en el Parque Nacional El Palmar

mental se abandonaron estas prácticas. En el Parque Nacional El Palmar se han realizado quemas prescriptas con la finalidad de limpiar el sotobosque de especies vegetales exóticas invasoras (*Melia azedarach*, *Crataegus sp.*, *Acacia triacanthos*) y de relajar la competencia para el establecimiento de plántulas de palmera (Figs. 7 y 8). Esto último se encuentra en una fase de ajuste experimental por parte de la Fundación Vida Silvestre Argentina y el INTA en el Refugio de Vida Silvestre La Aurora del Palmar (Moreno y Carminati, com. pers.). En el Parque Nacional Mburucuyá se ha experimentado también con quemas con la primer finalidad, así como la de incorporar al fuego como elemento natural y necesario en el tipo de sabanas subtropicales que contiene el parque.

5. Reflexiones finales

En términos generales puede concluirse que el impacto del fuego sobre la fauna silvestre depende de una gran número de circunstancias.

Puede ser altamente beneficioso o altamente perjudicial, depende del objeto de análisis (especie, ecosistema) y de las características propias del evento. Por otra parte, el fuego puede brindar una importante herramienta de manejo para la vida silvestre que ha sido desarrollada con éxito

en distintos países y ecosistemas del mundo, pero que al mismo tiempo debe ser aplicada con riguroso cuidado y adecuados estudios previos, ya que fuegos descontrolados o empleados de manera inconveniente pueden tener severos impactos sobre la biodiversidad y la sociedad humana.

6. Bibliografía

- Adámoli J. 1993. Análisis ecológico del fuego a escalas regional y local. En: C. Kunst, A. Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo (eds): Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados. Memoria del Seminario Taller. INTA Santiago del Estero. Argentina
- Anderse A. y W. Müller. 2000. Arthropod responses to experimental fire regimes in an Australian tropical savanna: ordinal-level analysis. *Austral Ecology* 25:199-209.
- Armúa de Reyes A., A. Bernardis, M. Goldfarb y S. Mazza. Efecto del fuego sobre la fauna entomológica de un pastizal al noroeste de Corrientes. Manuscrito sin fecha.
- Beade M. y A. Vila. 1995. *Ozotoceros bezoaricus celer*: variación del uso del hábitat en relación al manejo del pastizal. X Jornadas Arg. De Mastozoología. Libro de resúmenes. La Plata, Argentina.
- Bock C. y H. Bock. 1988. Grassland birds in Southeastern Arizona: impacts of fire, grazing and alien vegetation. En: P. Courtip (Ed): Ecology and conservation of grassland birds, ICBP Technical Publication N° 7. Pp 43-58.
- Bóo R., D. Peláez, S. Bunting, M. Mayor y O. Elía. 1997. Effect of fire on woody species in central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments* 35: 87-94.
- Braithwaite R. 1987. Effects of fire regimes on lizards in the wet-dry tropics of Australia. *J. Trop. Ecol.* 3:265-275.
- Burns B. 1993. Fire-induced dynamics of *Araucaria araucana-Nothofagus antarctica* forest in the southern Andes. *Journal of Biogeography* 20: 669-85.
- Busso C., R. Bóo y D. Peláez. 1993. Fire effects on bud visibility and growth of *Stipa tenuis* in semiarid Argentina. *Annals of Botany* 71: 377-81.
- Campalans J. 1984. Efecto del fuego sobre la taxocenosis coleoterológica epígea del matorral nativo de la V Región. Tesis de Licenciatura. Universidad Católica de Valparaíso, Chile. 150 pp.
- Carlson P., G. Tanner, J. Wood y S. Humphrey. 1993. Fire in key deer hábitat improves browse, prevent succession and preserve endemic herbs. *J. Wild Manag.* 57(4):914-928.
- Carnevali R. 1994. Fitogeografía de la provincia de Corrientes. Asunción (Paraguay). Edición del Autor. 324 págs.
- Cavalcanti R. 1988. Conservation of birds in the Cerrado of Central Brazil. En: Courtip, P. (Ed) Ecology and conservation of grassland birds, ICBP Technical Publication N° 7. Pp 59-66.
- Comparatore V., M. Martínez, A. Vassallo, M. Barg y J. Isacch. 1996. Abundancia y relaciones con el hábitat de aves y mamíferos en pastizales de *Paspalum quadrifarium* (Paja Colorada) manejados con fuego (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Inter ciencia* 21(4): 228-236.
- Danckwerts J., P. O'Reagain y T. O'Connor. 1993. Manejo de los pastizales en un ambiente cambiante: una perspectiva sudafricana. *Rangel, J.* 15(1):133-144.
- Da la Peña M. 1980. Andanzas de un naturalista. Ediciones Colmegna. 157 pp.
- Di Giácomo A. y A. Di Giácomo. Respuesta del yetapá de collar (*Alectrurus risora*) a los incendios en pastizales de Chajapé (*Imperata brasiliensis*) en el este de Formosa, Argentina.
- Dudley N. 1997. The year the world caught fire. WWF International Discussion Paper. 35 pp.
- Forde J., N. Sloan y D. Shown. 1984. Grassland hábitat management using prescribed burning in Wind Cave National Park, South Dakota. *The Prairie Naturalist* 16(3):97-110.

- Gabrey S. y A. Afton. 2000. Effects of winter marsh burning on abundance and nesting activity of Louisiana Seaside Sparrows in the Gulf Coast Cheiner Plain. *Wilson Bull.* 112(3):365-372.
- García Villanueva J. 1992. Recolonización por artrópodos de zonas alteradas por el fuego y otros procesos degradativos. Tesis doctoral. Area Ecología. Universidad de León (España). 150 pp.
- Gordon C. 2000. Fire and cattle grazing on wintering sparrows in Arizona grasslands. *J. Range Management.* 53:384-389.
- Griffiths A. y K. Christian. 1996. The effects of fire on the frillneck lizard (*Chlamydosaurus kingii*) in northern Australia. *Aust. J. Ecol.* 21:368-398.
- Hackney C. y A. de la Cruz. 1981. Effects of fire on brackish marsh communities: management implications. *Wetlands* 1:75-86.
- Jaksic F. 1992. Modifications of local and regional bird diversity after a fire in the Monte Desert, Argentina. *Journal of Field Ornithology* 63(3): 374.
- Juan V., L. Monterroso, M. Sacido y M. Cauhépe. 2000. Postburning legume seeding in the flooding pampas, Argentina. *Journal of Range Management* 53(3): 300-4.
- Kitzberger T. y T. Veblen. 1997. Influences of humans and ENSO on fire history of *Austrocedrus chilensis* woodlands in northern Patagonia, Argentina. *Ecoscience* 4(4): 508-20.
- Kitzberger T., T. Veblen y A. Lara. 1992. Disturbance regime variation along a rainfall gradient in northern Patagonia. *Bulletin of the Ecological Society of America* 73(2): 232.
- Kitzberger T., T. Veblen y R. Villalba. 1997. Climatic influences on fire regimes along a rain forest-to-xeric woodland gradient in northern Patagonia, Argentina. *Journal of Biogeography* 24: 35-47.
- Koenen M. y S. Koenen. 2000. Effects of fire on birds in Paramo hábitat of Northern Ecuador. *Ornitología Neotropical* 11:155-163.
- Kozlowski T. y C. Ahlgren. 1974. Fire and ecosystems. Academic Press. 542 pp.
- Kunst C. 1993. Fuegos prescriptos: consideraciones técnicas y prácticas para su investigación e implementación. En: C. Kunst, A. Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo (eds): *Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados*. Memoria del Seminario Taller. INTA Santiago del Estero. Argentina.
- Laterra P. 1997. Post-burn recovery in the flooding pampa: impact on an invasive legume. *Journal of Range Management* 50(3): 274-7.
- Laterra P., L. Ricci, P. Linares y A. Giaquinta. 1993. Demografía de *Paspalum quadrifarium* frente a quemas invierno-primaverales en la pampa deprimida (estado de avenca). En: C Kunst, A Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo (eds): *Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados*. Memoria del Seminario Taller. INTA Santiago del Estero. Argentina.
- Lewis J., S. Stofella, D. Prado, E. Pire, E. Francheschi y N. Carnevale. 1990. Dynamics and development of floristic richness in the vegetation of a large depressed area of the Great Chaco. *Flora* 184: 63-77.
- Marconi P. y F. Kravetz. 1986. Comunidades de roedores del Parque Nacional El Palmar (Entre Ríos, Argentina) según la historia del fuego. *Rev. Chilena de Historia natural* 59:47-57.
- Marone L. 1990. Modifications of local and regional bird diversity after a fire in the Monte Desert, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 63: 187-95.
- Nasca P. 2001. Fuego prescripto: efecto sobre la estructura y dinámica del espartillar de *Spartina densiflora* y su uso como herramienta de manejo para la conservación del venado de las pampas. Tesis de licenciatura. Universidad de Buenos Aires. 45 pp.
- Morello J. y J. Adámoli. 1974. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. INTA. Serie Fitogeográfica.
- Neiff J. 2001. Diversity in some tropical wetland systems of South America. En: Gopal, B., W. Junk y J. Davis. *Biodiversity in Wetlands: assessment, function and conservation*, Vol. 2. 31-60.
- Ojeda R. 1989. Small-mammal responses to fire in the Monte Desert, Argentina. *Journal of Mammalogy* 70(2): 416-20.
- Ordano M., L. Biancucci, A. Bortoluzzi y M. Chatellenaz. 2000. Respuesta de las aves al fuego y al pastoreo en pastizales del Parque Nacional Mburucuyá, Argentina. *Aves Argentinas / AOP*, Instituto Nacional de Limnología y Neotropical Bird Club. Inf. Preliminar. 33 pp.
- Panzer R. y M. Schwartz. 2000. Effects of management burning on prairie insect species richness within a system of small, highly fragmented reserves. *Biological Conservation* 96(3):363-369.
- Parera A. 2001. La lección del fuego. *Vida Silvestre* 76: 24-29,
- Parera A. y D. Moreno. 2000. El venado de las pampas en Corrientes. Diagnóstico de su estado de conservación y propuestas de manejo. FVSA. 41 págs.
- Parera A., A. Vila, N. Maceira y J. Giulietti. 1995. Situación actual del venado de las pampas en la provincia de San Luis: relevamientos terrestres. X Jornadas Argentinas de Mastozoología. Universidad de La Plata, 1995. Libro de resúmenes.

- Parera A., M. Babarskas y A. Bosso. 1993. Censos de aves rapaces en el centro de la provincia de Corrientes y su relación con focos de incendio. Primera Reunión de Ornitología de la Cuenca del Plata. Puerto Iguazú, Misiones. Setiembre de 1993.
- Peláez D., M. Bóo, O. Elia y M. Mayor. 1997. Effect of fire intensity on bud viability of three grass species native to central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments* 37: 309-17.
- Raffaele E. y T. Veblen. 2001. Effects of cattle grazing on early postfire regeneration of matorral in northwest Patagonia, Argentina. *Natural Areas Journal* 21(3): 243-9.
- Reynolds M. y P. Krausman. 1998. Effects of winter burning on birds in mesquite grassland. *Wildlife Soc. Bull.* 26(4):867-876.
- Rasmussen G., C. Scifres y D. Drawe. 1983. Huisache growth, browse quality, and use following burning. *Journal of Range Management* 36(3):337-342.
- Rodrigues F. 1996. Influencia do fogo e da seca na disponibilidade de alimento para herbívoros do cerrado. Pp 75-83. En: H. Miranda, C. Saito y B. Dias (Eds.) *Impacto de queimadas em áreas de Cerrado e Restinga*. Editora Universidad de Brasilia, Distrito Federal. Brazil.
- Rohrbaugh R., D. Reinking, D. Wolfe, S. Sherrod y M. Jenkins. 1999. Effects of prescribed burning and grazing on nesting and reproductive success of three grassland passerine species in tallgrass prairie. *Stud. Avian. Biol.* 19:165-170.
- Sánchez J. y M. Lazzari. 1999. Impact of fire on soil nitrogen forms in central semiarid Argentina. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 13: 81-90.
- Silveira L., F. Rodrigues, A. Jacomo y J. Diniz Filho, 1999. Impact of wildfires on the megafauna of Emas National Park, central Brazil. *Oryx* 33 (2): 108-114.
- Sipowicz A. 1993. Ecología y manejo del fuego en el ecosistema del caldenal. GESER, UBA, Buenos Aires, manuscrito de 17 pp.
- Stander P., T. Nott y M. Mentis. 1993. Proposed burning strategy for a semi-arid african savanna. *Afr. J. Ecol.* 31, 282-289.
- Valentine J. 1980. Range development and improvements. Brigham Young University Press, Provo, Utah, USA.
- Veblen T. y V. Markgraf. 1988. Steppe expansion in Patagonia? *Quaternary Research* 30: 331-8.
- Veblen T., T. Kitzberger, R. Villalba y J. Donnegan. 1999. Fire history in northern Patagonia: the roles of humans and climatic variation. *Ecological Monographs* 69(1): 47-67.
- Vieira E. 1994. Efeito do fogo em comunidades de pequenos mamíferos de cerrado do Brasil Central. Tesis doctoral. Universidad Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.
- Villalba R. y T. Veblen. 1998. Influences of large-scale climatic variability on episodic tree mortality in northern Patagonia. *Ecology* 79(8): 2624-40.
- Wilhelm E. 1968. Fire ecology of the Valdivian rain forest. p 55-70. En E. Komarek, Sr (ed.) . *Proceedings Tall Timbers Fire Ecology Conference*. Tall Timbers Research Station, Tallahassee, FL.
- Woinarski J. y H. Recher. 1997. Impact and response: a review of the effects of fire on the Australian avifauna. *Pac. Conserv. Biol.* 3:183-205.
- Woinarski J., C. Brock, A. Fisher, D. Milne y B. Oliver. 1999. Response of birds and reptiles to fire regimes on pastoral land in the victoria river district, Northern Territory. *Rangel. J.* 21(1):24-38.
- Wright H. y A. Bailey. 1982. *Fire Ecology*. United States and Souther Canada. John Wiley & Sons. 501 pp.

Reconstrucción de historias de fuego en bosques mediante técnicas dendrocronológicas

Andrea Medina¹



Fuego en caldén Fotos: A. Medina



¹ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. e-mail: andrepampa@hotmail.com

1. Introducción

El fuego es un importante disturbio que afecta a la gran mayoría de los ecosistemas boscosos del mundo y que tiene influencia determinante en factores económicos, sociales y ecológicos de dichas regiones.

El fuego no debería ser entendido como un evento catastrófico en todas las situaciones. En el contexto de las especies, las poblaciones o las comunidades, las respuestas a un fuego actual es la respuesta a una serie de eventos recurrentes. La historia de fuego de un sitio contribuye a la respuesta a un fuego actual. En este contexto, el fuego puede ser similar a muchos otros eventos frecuentes que afectan a los organismos, como las sequías, inundaciones, ciclones y huracanes (Whelan, 1995).

El fuego posee *características inmediatas* como su frecuencia, intensidad, extensión y estacionalidad y *características históricas* como el clima previo al fuego, el tiempo transcurrido desde el último evento y las características de los fuegos pasados. Además el régimen de fuego está influenciado por factores climáticos y factores antropogénicos, siendo entonces altamente sensible tanto a cambios del clima como a cambios en el uso y manejo de la tierra.

El estudio de la historia del fuego nos provee importante información sobre el funcionamiento de las comunidades vegetales sujetas a este disturbio. La metodología más usada para reconstruir historias de fuego ha sido el fechado de las cicatrices de fuego con métodos de la *dendrocronología* (del griego, dendro: árbol; khronos: tiempo; logos: tratado), la que se ocupa de determinar el orden de sucesos históricos basándose en la observación de los anillos de crecimiento que aparecen en la sección transversal del tronco de los árboles. Ha sido denominado por Dietrich (1975) "pirodendrocronología" (del griego, piro: fuego).

Las cicatrices de fuego se forman cuando el fuego alcanza una temperatura considerada letal para el *cambium*, la que se estima superior a los 60°C, consumiendo en algunos casos la corteza, el *cambium* y hasta porciones del xilema adyacente (Mc Bride, 1983). Si el *cambium* no fue afectado en su totalidad y el árbol sobrevive al fuego, el tejido vivo de los márgenes de la cicatriz cubrirá la herida con un crecimiento intensificado que acelera el cierre de la zona dañada y el restablecimiento de la continuidad del *anillo cambial* alrededor de la circunferencia del tron-



Figura 1: Sección transversal de un tronco de *Prosopis caldenia* de Arizona, provincia de San Luis en la que se pueden observar cicatrices de fuego en los anillos de los años 1976, 1960 y 1925 (cicatrices ciegas) y cicatrices de fuego (1993) que aún no han sido totalmente cubiertas por el leño. El árbol fue cortado en diciembre de 1997 y su fecha de nacimiento fue en el año 1901. Puede observarse también la efectividad del proceso de compartimentalización en este ejemplar y las columnas de decoloración debajo de cada cicatriz.

co. Este dinámico proceso, denominado compartimentalización, contribuye a mantener el funcionamiento normal del tallo y a la resistencia a la propagación de infecciones hacia la albura (Smith y Sutherland, 1999) y es acompañado generalmente por la formación de columnas de leño decolorado originadas por la oxidación de compuestos fenólicos constitutivos segregados por el árbol como reacción de protección contra ataques de patógenos (Giménez *et al.*, 1997; Smith, 1997). Las cicatrices cubiertas totalmente por el leño de neoformación (*cicatrices ciegas*) son reconocibles sólo a partir de un corte transversal del tronco del árbol (Figura 1). En otros casos las lesiones son más leves y el daño queda registrado a nivel de la corteza, manteniéndose la continuidad en la formación del tejido leñoso pero con cambios en su estructura (Bravo *et al.*, 2001).

Numerosos agentes bióticos y abióticos producen marcas en los árboles. Por lo tanto, una estimación correcta de la historia del fuego de un bosque requiere de la determinación precisa

sobre el origen de las cicatrices, marcas y estructuras asociadas a este disturbio. Los fuegos prescritos, realizados con fines de manejo o de experimentación, proveen una importante oportunidad para investigar la respuesta de los árboles a las heridas producidas por el fuego y para identificar sus características.

2. Pasos metodológicos para la reconstrucción de historias de fuego

2.1. Selección de las muestras (troncos o árboles marcados por el fuego)

La estrategia de muestreo en estudios tendientes a reconstruir historias de fuego depende principalmente de la densidad de árboles con cicatrices en el área. En regímenes de fuegos frecuentes y de baja intensidad unos pocos árboles pueden registrar una gran cantidad de fechas de fuego, lo que permite muestrear el 100 % de los árboles en áreas reducidas con gran número de cicatrices por individuo. En otras situaciones donde los árboles remanentes son más dispersos o presentan menos número de cicatrices por árbol es necesario realizar muestreos sistemáticos sobre áreas mayores por medio de transectas o grillas, con la eventual necesidad de estratificar por tipo de bosques (Kilgore y Taylor, 1979).

Para análisis de frecuencia de incendios es conveniente muestrear grupos de árboles cercanos que ayuden a la posterior corroboración de las fechas de fuego (Kitzberger *et al.*, 2000). Debe priorizarse el muestreo de cicatrices múltiples sobre simples, las cuales pueden identificarse a simple vista por la presencia de surcos longitudinales sucesivos en los márgenes de la cicatriz (Figura 2) así como las cicatrices sanas sobre las que evidencian ataques de hongos, de larvas de cerambícidos o de otros insectos xilófagos.

El uso de técnicas dendrocronológicas estándares permite muestrear material muerto, como tocones cortados en el pasado, troncos enterrados y fragmentos de madera, el que se puede fechar mediante el uso de cronologías maestras de ancho de anillos preexistentes de la región o desarrolladas para el área de estudio.

2.2. Técnicas de muestreo

Existe una gran variedad de técnicas para obtener secciones de tocones o árboles marcados por fuego. Los primeros investigadores cortaban una sección transversal completa del árbol pero actualmente este método destructivo fue reemplazado por la extracción de cuñas o secciones parciales de la cicatriz, efectuándose

dos cortes transversales paralelos a 1-2 cm de distancia entre sí, liberando la sección mediante palanca, resultando no destructiva si se realiza cuidadosamente. En estos casos puede resultar muy útil tomar muestras con barrenos en la cara del árbol opuesta a la cicatriz de fuego para poder determinar certeramente, mediante cofechado y diferencia, la fecha de fuego.

La base de los troncos es la zona donde mejor se registran las cicatrices de fuego (Dietrich y Swetnam, 1984) y por tratarse de la parte más longeva del árbol contienen mayor cantidad de información analizable. Es interesante estudiar la posibilidad de recuperar árboles descalzados por desmonte mecánico (como en la realización y mantenimiento de picadas corta-fuegos) de los cuales se pueda averiguar con seguridad y precisión la fecha de dicho evento. Se pueden también tomar muestras de rebrotes basales de árboles muertos por incendios, ya que su edad máxima puede ser utilizada como estimación del tiempo transcurrido desde ese evento.



Figura 2: Fotografía de un ejemplar vivo de *Prosopis caldenia* con evidencia de múltiples cicatrices de fuego, las que aún no han sido cubiertas totalmente por el leño vivo, apareciendo a simple vista como un área sin corteza, con aspecto de grietas longitudinales paralelas.

2.3. Preparación de las muestras

Las muestras deben ser niveladas, pasadas por garlopa, pulidas con lijas de granulometría ascendente (de 60 a 600) y sopleteadas con aire comprimido entre cada lijado, lográndose así una clara visión de los anillos de crecimiento de la madera.

2.4. Desarrollo de las cronologías de fuego

Originalmente el fechado de eventos de fuego se realizaba por simple conteo de anillos de crecimiento hacia la corteza y entre cicatrices, asumiéndose la ausencia de falsos anillos y de anillos ausentes. Cuando las muestras del mismo sitio presentaban alguna discordancia en la fecha de sus cicatrices se procedía a un "ajuste" hacia las fechas de las muestras más "confiables" (McBride, 1982). En regímenes de fuegos frecuentes, en los que pueden ocurrir fuegos en años consecutivos, esta técnica se torna inapropiada, además de limitar el estudio a muestras provenientes de material vivo (Kitzberger *et al.*, 2000).

Actualmente se aplican técnicas dendrocronológicas estándares (Stokes y Smiley, 1968; Fritts, 1990) que consisten en la medición del espesor los anillos de crecimiento de todas las muestras del sitio bajo lupa y con equipo medidor electrónico de precisión. Es importante conocer con exactitud la fecha de formación del último anillo (fecha de corte y/o muerte del material) dado que si fue cortado, por ejemplo, en marzo del año 2000, su último anillo de crecimiento deberá fecharse como el anillo correspondiente al año 1999, siguiendo la convención vigente para el hemisferio sur de asignar a cada anillo la fecha calendario del año en que comenzó a formarse.

Las medidas de ancho de anillos se someten al proceso de cofechado, el que puede realizarse en forma visual mediante el trazado de las medidas del espesor de los anillos (Stokes y Smiley, 1968, Guyette y Cutter, 1991), por identificación de anillos marcadores (anillos muy angostos, muy gruesos, etc) o mediante la aplicación de programas específicos como el COFECHA (Holmes, 1983), de aplicación general y estandarizada en dendrocronología. Este proceso dará calidad y confiabilidad a la cronología compuesta por todas las muestras analizadas y permitirá asignar con precisión años calendario a las cicatrices y marcas de fuego así como a otras características asociables a fuegos, como cambios bruscos en los ritmos de crecimiento (liberación vs supresión), microanillos (Figura 3) y otras estructuras asociadas a este disturbio (Brown y Swetnam, 1994).

Es posible también determinar la estación en que se produjeron los fuegos (Dieterich y Swetnam, 1984), clasificándolos en fuegos del período de receso vegetativo si la cicatriz se

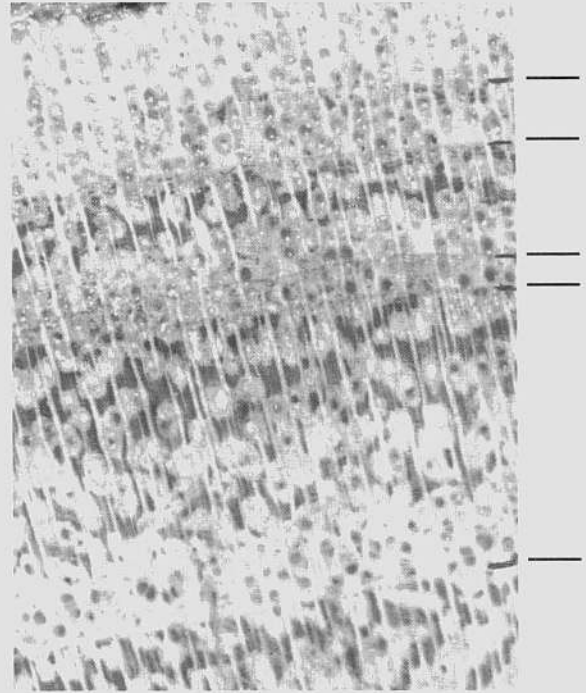


Figura 3: Fotografía de sección transversal de *Prosopis caldenia* mostrando un microanillo o anillo con poco desarrollo en su grosor (flecha), coincidente con un año de fuego revelado por cicatrices en otras muestras del mismo sitio. Las líneas negras marcan límites entre anillos anuales de crecimiento de terminado por una banda de parénquima terminal y el comienzo del leño de primavera caracterizado por abundantes vasos de conducción de gran diámetro.

encuentra entre el leño tardío de un anillo y el leño temprano del próximo; fuegos de primavera si la cicatriz se encuentra dentro del leño temprano y fuegos de distintas etapas del verano (principios, mediados y fines del verano) según se ubique la cicatriz en el primer, segundo o tercer tercio del leño de verano respectivamente (Figuras 4, 5 y 6).

La cronología maestra de fuego surge de los datos obtenidos a partir de la metodología mencionada y la tarea se ve actualmente facilitada por paquetes computacionales específicos como FHX2 (Grissino-Mayer, 1995), que consiste en un listado cronológico de todas las fechas de fuego de las series individuales ya cofechadas (Fig 7). Esta nos permite observar cambios temporales de la frecuencia de fuegos y patrones de sincronía de fuegos indicativos de fuegos mayores o que afectaron a mayor número de árboles (Kitzberger *et al.*, 2000).

A partir de esto se determinan estadísticos importantes tales como:

- Intervalo de fuego: número de años que transcurren entre fuegos sucesivos en un área.



Figura 4: Fotografía en la que se observa una cicatriz de fuego en la etapa de reposo de *Prosopis caldenia*. Líneas negras: idem explicación figura 3.

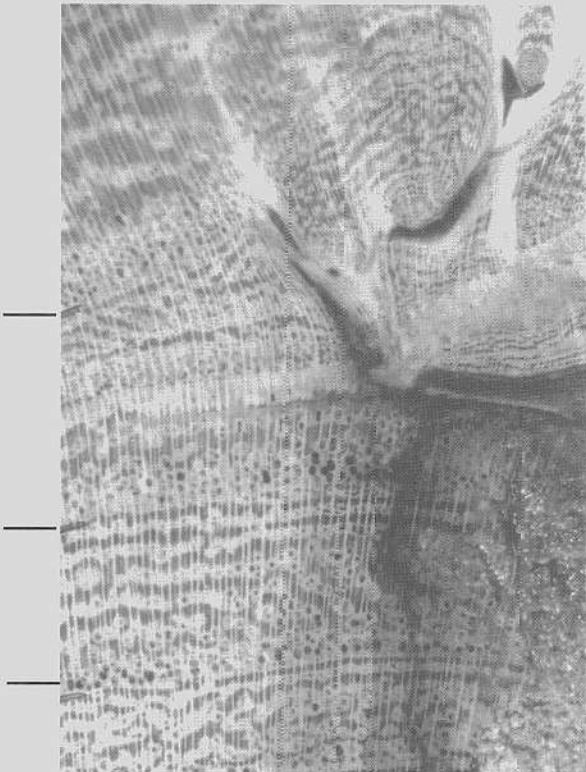


Figura 5: Fotografía mostrando una cicatriz de fuego de verano, ubicada en el segundo tercio del leño tardío de un anillo de crecimiento de *Prosopis caldenia*. Líneas negras idem explicación figura 5.

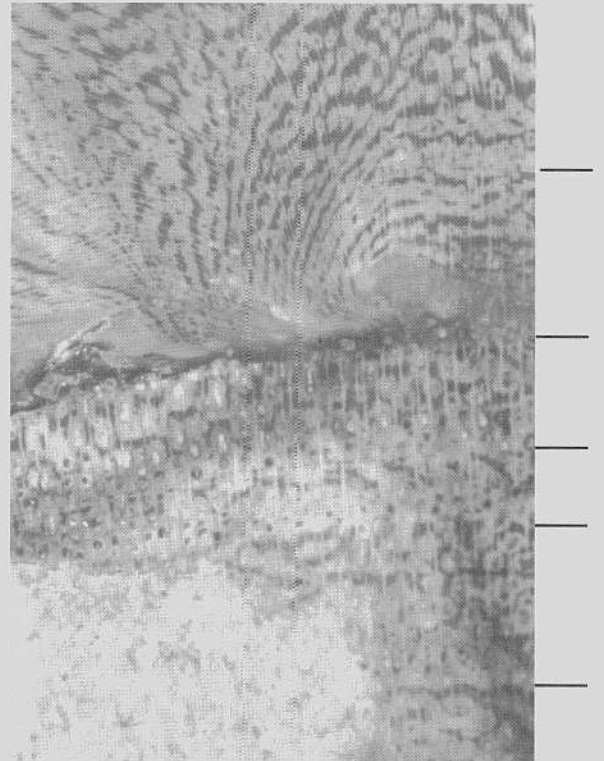


Figura 6: Fotografía de cicatriz de fuego de primavera en la que se observan vasos de leño temprano con rasgos de carbonización. Puede observarse también una liberación del crecimiento (formación de anillos de crecimiento anchos) después de dicho fuego. Líneas negras idem explicación figura 3 y 4.



Figura 7. Cronología de fuego basada en el fechado de cicatrices de fuego de *Prosopis caldenia* en un bosque de la estancia La verde, Arizona, Sur de San Luis. Las líneas horizontales representan el tiempo de vida de cada uno de los Caldenes analizados, en las cuales se representa el año de nacimiento y de muerte del ejemplar (media flecha), el último anillo visible (línea vertical corta al final de la serie) y las cicatrices de fuego (líneas verticales cortas). Las líneas punteadas indican años anteriores a la existencia de cicatrices de fuego en el leño. Debajo, cronología de fuego compuesta en la cual las líneas verticales indican la ocurrencia de cicatrices de fuego en al menos un Caldén en el área de estudio. (Fuente: Medina, Dussart, Estelrich y Morici, 2000).

- Intervalo medio de fuego puntual (IMF puntual): promedio aritmético de todos los intervalos de fuego en un punto, es decir, aquellos registrados por una muestra o árbol.
- Intervalo medio de fuego compuesto (IMF compuesto): promedio aritmético de todos los intervalos entre fuegos registrados por cualquier muestra o árbol del área de estudio. Este debe estar siempre referenciado a un área y esfuerzo

de muestreo (Tabla 1). El período de tiempo sobre el cual es calculado el IMF también debe ser considerado (Tabla 2). McBride y Jacobs, (1980) sugieren analizar períodos basados en la historia de uso de la tierra debido a que los MFI calculados para dichos períodos pueden ser útiles para entender el impacto humano sobre la historia del fuego y la ecología del bosque.

Tabla 1: Datos estadísticos de Intervalos Compuestos de Fuego para dos áreas (500 ha) de bosque abierto de *Prosopis caldenia*. (Bajo Verde: 36 muestras; Arizona: 23 muestras).

Área de muestreo	Períodos (años)	IMF compuesto (años)	WMPI (años)	Rango (años)	Desvío estándar (años)	Coefficiente de variación (años)	Nº intervalos
Bajo Verde, Pcia. de LaPampa	1805-1990	5,14	4,16	1-23	5,08	0,99	36
Arizona, Pcia. de San Luis	1787-1993	9,6	7,62	2-25	7,76	0,81	25

Tabla 2: Análisis de variaciones temporales del IMF compuesto.

Area de muestreo	Períodos (años)	IMF compuesto (años)	Desvío estándar (años)	Coefficiente de variación (años)	Nº intervalos
Bajo Verde	1805-1879	9	8,07	0,9	8
	1880-1990	4,04	3,36	0,83	27
Arizona	1787-1879	12	7,82	0,65	11
	1880-1993	7,7	6,33	0,81	13

- Weibull Median Probability Interval (WMPI): debido a que el intervalo medio de fuego tiende a distribuirse en forma no normal con sesgo positivo (Baker, 1989), con colas extendidas hacia intervalos mas largos, la distribución se suele ajustar a funciones mas flexibles como la de densidad de probabilidades de Weibull, en la que el intervalo que deja 50 % de excederse en longitud es llamado WMPI (Weibull Median Probability Interval) y es usado como medida de la tendencia central (Tabla 1).

Es también útil discriminar los fuegos por su tamaño o extensión mediante el filtrado de la serie compuesta de fuego con criterios de porcentaje de árboles con cicatrices en relación al número de árboles que se registran al momento del evento (Tabla 3).

La realización de este tipo de reconstrucciones de la historia del fuego en varios sitios de una formación boscosa (los que pueden diferir en varias características como su historia de manejo, relieve, microclima, etc.) amplía la cobertura del análisis y permite captar cambios espaciales en los patrones de fuego e indagar sobre la relación de la historia del fuego con factores climáticos y/o antropogénicos.

Gran esfuerzo se ha puesto en distintas regiones del mundo para obtener información sobre el llamado régimen "natural" de fuego. En general se sostiene que en ausencia de información precisa acerca de los efectos ecológicos de un régimen particular de fuego, el mejor plan de manejo es imitar a la naturaleza. Pero hay que tener en cuenta que no es apropiado referirse a un único régimen "natural" de fuego, ya que incluso antes de la aparición del moderno *Homo sapiens* dicho régimen ha estado sujeto a variaciones (Whelan, 1995). Mas probablemente el bosque actual es el reflejo de un régimen de fuego *dinámico* y lleva impreso en él la memoria de diferentes regimenes de fuego pasados.

Las igniciones humanas, la creciente disección del paisaje natural y la reducción del riesgo de incendio son realidades de hoy, por lo que los

estudios debería dirigirse hacia las investigaciones directas sobre la respuesta de los organismos, las poblaciones y las comunidades a distintos regimenes de fuego actuales y hacia la investigación de la dinámica temporal y espacial de los fuegos a fin de conocer y evaluar las respuestas de cada ecosistema boscoso a distintos regimenes de fuego y obtener así marcos de referencia que permitan planificar manejos racionales del fuego en base a los objetivos requeridos.

3. Problemática del fuego en el Bosque de Caldén

El distrito fitogeográfico del Caldenal (Cabrera y Willink, 1973) cubre aproximadamente 40.000 km² en el centro de la Argentina. Originalmente habría estado ocupado por un bosque abierto de *Prosopis caldenia* Burkart, con árboles grandes dispersos en una matriz de pastizales de valor forrajero elevado (paisaje tipo savánico). A partir de la introducción de las actividades silvopastoriles a fines del siglo diecinueve, este paisaje fue progresivamente invadido por formaciones arbustivas de la misma especie, llamadas localmente con el nombre de "fachinales". Lell (1990); Scarone (1990), Steibel y Troiani (1999) y Llorens (2000) entre otros, atribuyen parcialmente este fenómeno a los incendios y quemas sistemáticas que acompañaron la colonización de la región. Otros investigadores (Cano *et al.*, 1985; Anchorena, 1988; Boó, 1990; Gorondi, 1990; Sipowicz, 1994; Buzzo, 1997) sostienen que la ausencia de fuego en el caldenal, o una reducción en su frecuencia a partir de la colonización, ha provocado el aumento de la densidad de estos bosques.

Este debate, actualmente con posiciones fuertemente encontradas, es de importancia crucial para el manejo del caldenal, particularmente en lo que concierne a la reintroducción del fuego a través de programas de quemas prescriptas. El fuego se emplea en el caldenal con diversos fi-

Tabla 3. Estadísticos de intervalos compuestos de fuego del Bajo Verde para el período 1805-1990 mediante filtrado de la serie para la discriminación del tamaño de fuego. (1%: años con más de una cicatriz; 10%: años con más del 10% de árboles con cicatriz; 20%: años con más del 20% de árboles con cicatriz.

Filtrado de la serie compuesta	IMF compuesto (años)	Rango (años)	Desvío estándar (años)	Coefficiente de variación (años)	Nº intervalos
1%	5,14	1-23	5,08	0,99	36
10%	6,85	1-23	6,95	1,01	27
20%	8,23	1-51	11,23	1,36	21

nesiendo los mas importantes el manejo ganadero, el control de leñosas, la "limpieza" del terreno para uso agrícola y la reducción de material combustible para minimizar la probabilidad de incendios naturales destructivos.

Como en otras formaciones dominadas por *Prosopis sp.*, la evolución de bosques abiertos a densos arbustales es aparentemente provocada por la introducción del ganado, especialmente el vacuno (Archer, 1995). El fuego aparece como un factor auxiliar de esta evolución que además induce alteraciones estructurales en el bosque al transformar sus fustes en renuevos multicaules. Estos cambios en la vegetación pueden jugar un papel importante de retroalimentación en el régimen de fuego local pues la vegetación actual presenta mayor conductividad horizontal y vertical entre sus distintos estratos que la que existía en el clásico Monte Alto de Caldén.

4. Reflexiones finales

La reconstrucción de la historia del fuego mediante análisis dendrocronológico en *Prosopis caldenia* (Burk.) está contribuyendo al esclarecimiento de la dinámica temporal y espacial del fuego en el bosque de caldén. Si bien este trabajo se encuentra en pleno desarrollo se pueden obtener algunas conclusiones importantes:

*El fuego es un antiguo y frecuente disturbio del bosque de caldén: se han podido fechar fuegos de mediados del siglo XVIII, limitándonos en el análisis temporal la longevidad de los caldenes (el más antiguo de ellos nacido en el año 1723).

*El fuego ha tenido una alta frecuencia en el período 1870- 1880, coincidente con el período de conflicto entre aborígenes, en este caso Ranqueles, colonos y campañas militares, etapa que culmina con la Campaña del Desierto (1879), momento en que los aborígenes son finalmente reducidos. Para este período existen abundantes relatos y crónicas históricas que corroboran el

amplio uso del fuego en el caldenal como estrategia de defensa, tanto por los Ranqueles como por parte de las milicias de la Campaña. Desde el año 1880 al presente o período de la colonización Europea, la frecuencia de fuegos no ha sido constante. En los primeros años la frecuencia es muy alta, relacionada seguramente con el propósito de "limpiar" la tierra para uso agrícola y/o ganadero. Vuelve a tener un pico en su frecuencia en los años de la Primera y Segunda Guerra Mundial, momentos en que existió una alta demanda de leña de caldén para los ferrocarriles debido al desabastecimiento de carbón Europeo. Para el período de ocupación aborigen hay un aumento en la frecuencia de fuego a principios del siglo XIX, la que puede estar relacionada con la irrupción de grupos Araucanos en las pampas empujados por la temprana colonización Europea en Chile. No se tienen datos del uso del fuego por parte de los Ranqueles, mas que su uso para señales de fuego.

*Si bien parece clara la relación antropogénica con los cambios de las frecuencias de fuego, sería importante indagar sobre su relación con el clima. Para ello se deberían realizar reconstrucciones climáticas de la precipitación y la temperatura con métodos de la dendroclimatología. Ensayos preliminares con *Prosopis caldenia* demuestran que esta especie es potencialmente útil para ello. Esto ampliaría mucho el alcance de tiempo analizable, pues en La Pampa se cuentan con datos climatológicos desde el año 1921.

*La estacionalidad de los fuegos es marcadamente sesgada hacia meses de primavera y verano, coincidente con el período anual de mayor déficit hídrico y de mayor acumulación de material combustible por los estratos inferiores de la vegetación así como con los meses de ocurrencia de tormentas convectivas.

*Los fuegos parecen haber aumentado sus áreas de extensión a partir de la colonización, pero ésta información cobrará fuerza cuando se cuente con los resultados de todas las áreas en estudio.

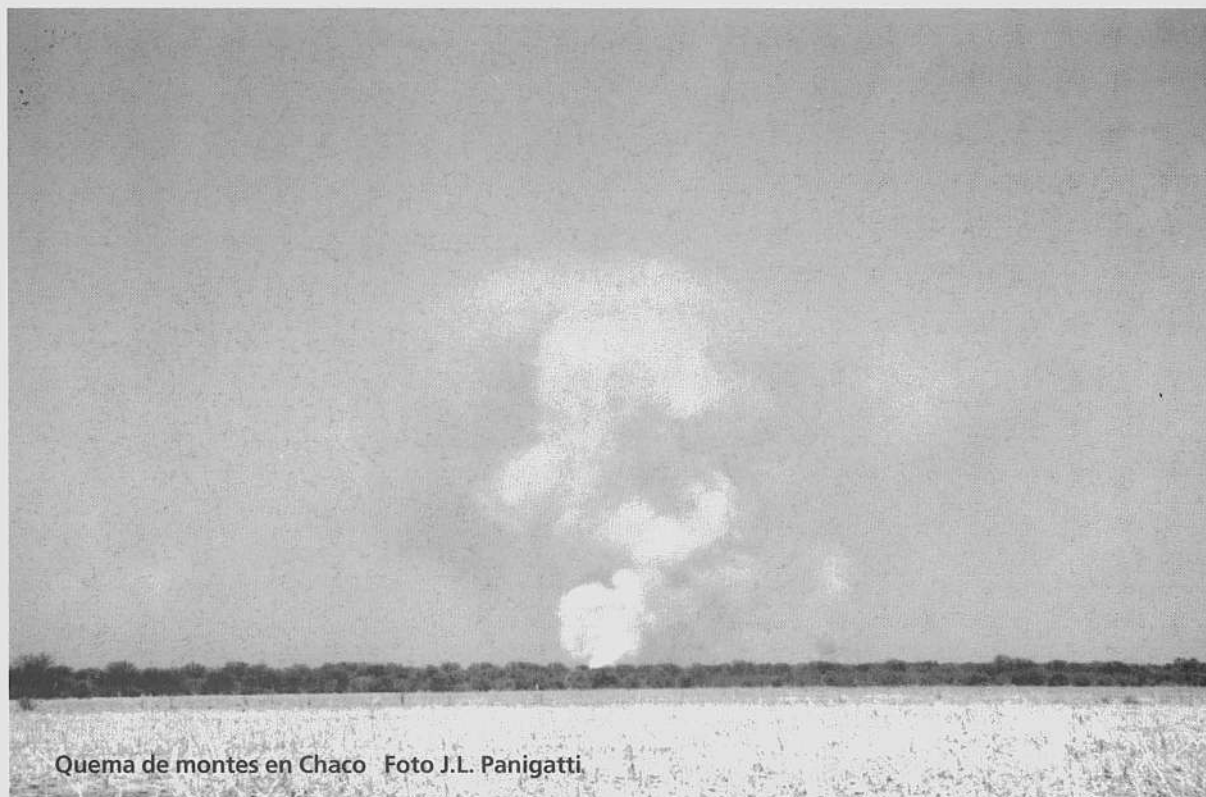
5. Bibliografía

- Anchorena J. 1998. Manejo en regiones semiáridas. Pastizales Naturales de La Pampa, Tomo II. CREA. Convenio AACREA-Provincia de La Pampa.
- Archer S. 1995. Tree-grass dynamics in a *Prosopis*-thornscrub savanna parkland: Reconstructing the past and predicting the future. *Ecoscience*, 2: 83-99.
- Baker W. 1989. Effect of scale and spatial heterogeneity on fire interval distributions. *Canadian Journal of Forest Research*, 19:700-706.
- Boó R. 1990. Algunos aspectos a considerar en el empleo del fuego. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de la Pampa*, 5: 63-80.
- Bravo S., A. Giménez y G. Moglia. 2001. Efectos del fuego en la madera de *Prosopis alba* Griseb. y *Prosopis nigra* (Griseb) Hieron, Mimosaceae. *Bosque*, 22(1):51-63.
- Brown P. y T. Swetnam. 1994. A cross-dated fire history from coast Redwood National Park, California. *Canadian Journal of Forest Research*, 24:21-31.
- Buzzo C. 1997. Toward an increased and sustainable production in semi-arid rangeland of central Argentina: 2 decades of research. *Journal of Arid Environment*, 36:197-210.
- Cabrera A. y A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. Serie Biología. Monogr.13. Organization of American States, Washington DC.
- Cano E., H. Estelrich y H. Holgado. 1985. Acción del fuego en los estratos gramíneos y arbustivos de un bosque de caldén. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de la Pampa*, 1: 81-96.
- Dieterich J. y T. Swetnam. 1984. Dendrochronology of a fire-scarred ponderosa pine. *Forest Science* 30:238-247.
- Dieterich J. 1975. Fire histories in southwestern ponderosa pine. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Forest Science Laboratory, Temple, Arizona Study Plan. RM-220.
- Fritts H. 1990. *Tree Rings and Climate* New York, Academic Press, 567 p.
- Giménez A., N. Ríos y G. Moglia, G. 1997. Leño y corteza de Itin *Prosopis kuntzei* (Harms) en relación a algunas magnitudes dendrométricas. *Invest. Agr.: Sist. Recur For.* Vol. 6(1 y 2).
- Gorondi A. 1990. La reintroducción del fuego en el ecosistema bosque de caldén. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de la Pampa*, 5 (1): 149-154.
- Grissino-Mayer H. 1995. Tree-ring reconstructions of climate and fire history at Malpais National Monument, New Mexico. Dissertation. Univ. of Arizona, Tucson, USA.
- Guyette R. y B. Cutter. 1991. Tree ring analysis of fire history of a post oak savanna in the Missouri Ozarks. *Natural Areas Journal*, 11:93-99
- Holmes R. 1983. Computer-assisted quality control in tree ring dating and measuring. *Tree-Ring Bulletin*, 43:69-78.
- Kilgore B. y D. Taylor. 1979. Fire History of a sequoia-mixed conifer forest. *Ecology*, 60:129-142.
- Kitzberger T., T. Veblen y R. Villalba, R. 2000. Métodos dendrocronológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. *Dendrocronología en América Latina*. F Roig (compilador), EDIUNC, Mendoza, Argentina.
- Lell J. 1990 Incendios de bosques en La Pampa. *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad nacional de La Pampa*, 5(1):29-33.
- Llorens E. 2000. Estrategias de manejo del Caldenal para lograr una máxima producción sustentable. *Nuestro Campo*, 13:-17.
- Mc Bride J. 1983. Analysis of tree rings and fire scars to establish fire history. *Tree-Ring Bulletin*, 43: 51-67.
- McBride J. y D. Jacobs. 1978. The history of the vegetation of Muir Woods National Monument. USDA National Park Service. West Region, San Francisco, California. 131 p.
- Medina A., E. Dussart, H. Estelrich y E. Morici. 2000. Reconstrucción de la frecuencia de fuego en un bosque de *Prosopis caldenia* Burkart, de Arizona, sur de la Provincia de San Luis. *Multequina*, 9. En Prensa.
- Scarone M. 1990. Consideraciones sobre el fuego como herramienta de manejo en el bosque de caldén. *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad nacional de La Pampa*, 5(1):161-167.
- Sipowicz A. 1994. Ecología y manejo del fuego en el ecosistema del caldenal. EEA INTA-Anguil. Boletín de divulgación técnica n° 51, pp. 16.

- Smith K. y E. Sutherland. 1999. Fire-scar formation and compartmentalization in oak. *Canadian Journal of Forest Research*, 29:166-171.
- Smith K. 1997. Phenolic and compartmentalization in the sapwood of broad-leaved trees. *Methods in Plant Biochemistry and Molecular Biology*, 16: 189-198.
- Steibel P. y O. Troiani. 1999. El género *Prosopis* (Leguminoae) en la Provincia de La Pampa. *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad nacional de La Pampa*, 10 (2): 24-48.
- Stokes M. y T. Smiley. 1968. *An Introduction to Tree Ring Dating*. Illinois, USA, University of Chicago Press: 73 p.
- Whelan R. 1995. *The Ecology of Fire*. Cambridge University Press.

Los incendios forestales como modeladores del paisaje en la región chaqueña

Pablo Herrera¹, Sebastián Torrella¹ y Jorge Adámoli¹



Quema de montes en Chaco Foto J.L. Panigatti

¹ Laboratorio de Ecología Regional, Dpto. de Cs. Biológicas, Facultad de Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
e-mail: jorge@bg.fcen.uba.ar.

1. Introducción

El fuego es un factor preponderante en el diseño de la vegetación en la región Chaqueña. A pesar de que resulta difícil evaluar la magnitud del área total afectada por incendios, es seguro que fueron un componente espacial y ecológicamente importante del paisaje original.

El Chaco Húmedo ocupa aproximadamente 200.000 km². Anualmente se queman de un quinto a un décimo de dicha superficie, lo que representa entre 20.000 y 40.000 km² de pastizales y sabanas. Debido a la rápida recuperación de la cobertura del estrato gramíneo, no quedan evidencias de modelado por el paso del fuego, porque persiste la fisonomía herbácea.

El Chaco Seco ocupa aproximadamente 300.000 km². Allí, el área total afectada por fuegos que dejan marcas en el paisaje (o sea, que han provocado un pasaje de la fisonomía de bosque a pastizal o a arbustal) varía sensiblemente entre años. En 1988, hubo un período de sequía intenso con fuerte actividad del viento norte. Esto dio lugar a la ocurrencia de una gran cantidad de incendios de importantes dimensiones (entre 100 y 300 km² cada uno). En 1998 la actividad del fenómeno de El Niño fue marcada y provocó abundantes precipitaciones y nubosidad. Los incendios forestales en ese período fueron escasos.

No hay datos confiables que permitan dimensionar la tasa anual de quema en el Chaco Seco. Sin embargo, puede estimarse un valor de aproximadamente 1.000 km² por año. Debido a que muchos incendios ocurren en áreas previamente quemadas (y con distintos grados de recuperación), es posible tener una estimación grosera de las fisonomías afectadas, del orden de 200 km².año⁻¹ de bosque, 500 km².año⁻¹ de arbustales y 300 km².año⁻¹ de pastizales secundarios o pirógenos.

De los datos mencionados se desprende que en el Chaco Húmedo se quema una superficie mucho mayor, pero no quedan rastros (no se generan cambios fisonómicos) en el paisaje; el patrón de distribución de incendios es aparentemente aleatorio. En cambio, en el Chaco Seco la superficie incendiada es menor, se generan cambios fisonómicos en el paisaje (pasaje de bosque a pastizal) y el patrón de distribución de incendios podría asignarse como contagioso, especialmente vinculado con la presencia de fuentes de ignición, como paleocauces o caminos. Los incendios presentan una definida dirección Norte/Sur lo que refleja la coincidencia de los grandes incendios forestales con los vientos Norte, de fuerte poder disecante.

El centro y oeste del Chaco tienen patrones de paisaje en los que el fuego ha sido y

sigue siendo un componente esencial, no sólo como pulso ecológico recurrente, sino también como modelador del paisaje. Actualmente no quedan rastros de muchos de los más antiguos incendios, ya que su recuperación se mide en períodos de algunas décadas. Sin embargo, comparando imágenes de épocas diferentes, es posible identificar áreas originadas por grandes incendios, producidos hace más de cincuenta años, donde los fuegos son recurrentes. Asimismo, es posible identificar áreas originalmente abiertas con fuego, que posteriormente fueron ocupadas para uso agrícola.

Hacia el oeste los bosques incendiados, transformados en pastizales, permanecen como tales si hay recurrencia del fuego (ver pastizales pirógenos). Los bosques quemados pueden recuperarse en áreas con baja presión antrópica, pero la mayor parte sufre nuevos incendios originados por los ganaderos para mantener o ampliar la cobertura de pastos nativos. Existe por lo tanto, relación entre los focos iniciales con factores determinantes como ser la presencia de caminos (acción antrópica) o de pastizales, particularmente vinculados con paleocursos colmatados.

El sobrepastoreo provocó en el Chaco Seco la pérdida del estrato herbáceo y su sustitución por un denso estrato arbustivo. Sin embargo, llama la atención la persistencia de núcleos de pastizales remanentes, los que en su inmensa mayoría crecen sobre suelos arenosos. Estos pastizales o sabanas secas ocupan generalmente paleocauces colmatados con arenas fluviales, vinculados con las migraciones de los ríos Juramento, Bermejo o Pilcomayo. Otros pastizales ocupan arenales de origen eólico como los médanos fósiles que atraviesan la ruta Transchaco, en la frontera entre Paraguay y Bolivia o los Campos del Arenal al Sur de Rosario de la Frontera, en Salta.

La persistencia de la vegetación herbácea en estos núcleos, puede ser explicada a través de la mejor infiltración, resultante de la textura gruesa, que promueve un recubrimiento más rápido debido a que la mayor parte de las precipitaciones queda disponible para el crecimiento de las hierbas, favoreciéndolas en la competencia con las leñosas. Al subsistir un stock de biomasa herbácea, se posibilita la acción del fuego, lo que contribuye al mantenimiento de la fisonomía de estos pastizales. Esto se hace evidente en fotografías aéreas donde se observan los parches quemados con una clara alineación Norte-Sur y los núcleos remanentes de pastizales que representan los puntos iniciales de algunos de esos fuegos, con dirección ONO-ESE.

2. Análisis ecológico de los efectos del fuego a escala regional y local

En numerosos sistemas ecológicos el fuego desempeña un papel relevante. En las regiones con clima estacional y particularmente en las sabanas y bosques tropicales, se lo considera uno de los principales determinantes de la fisonomía del paisaje (Sarmiento, 1984; Walker, 1987). A diferencia de otros factores que influyen en ella, tales como el clima o el suelo, el fuego puede ser manipulado y esto le confiere un status especial en términos de manejo (Morello y Adámoli, 1968). Aunque existen fuegos provocados por causas naturales, el hombre es sin dudas el principal responsable del inicio y propagación de incendios.

En este capítulo se analizará el papel del fuego como factor ecológico teniendo en cuenta dos escalas:

- la regional, donde se analizarán por una parte las condiciones que permiten que el fuego se manifieste como factor y
- la local, donde se discutirán los principales efectos sobre el medio biótico y abiótico.

Para iniciar un fuego perceptible a escala del paisaje, es necesario acumular biomasa combustible seca sobre superficies considerables. Este requisito excluye la ocurrencia de este evento en ambientes de desiertos ya que a pesar de existir combustibles secos, no registran la continuidad suficiente como para permitir la propagación del fuego. La necesidad de acumulación de biomasa seca excluye a los bosques húmedos. Las formaciones herbáceas acompañadas de clima estacional son, por lo tanto, las más propensas a sufrir incendios.

Quemar un bosque es tarea mucho más complicada. A pesar de todo lo que se conoce sobre los «incendios en el bosque amazónico», puede afirmarse que mientras mantenga sus características estructurales, dicho bosque no se puede quemar (Adámoli, 1991; Uhl *et al.*, 1992) porque debido a la intercepción de la radiación solar por un dosel arbóreo cerrado, la biomasa herbácea necesaria para iniciar los fuegos es escasa y además contiene un elevado tenor de humedad. Lo que habitualmente se quema no es el bosque amazónico "in natura", sino la madera acumulada en los terrenos que han sido previamente desmontados o muy degradados.

La acumulación de biomasa seca (hierbas, hojarasca y ramas) se observa fundamentalmente en los bosques deciduos, los que experimentan la caída del follaje como una estrategia de escape ante la estación desfavorable (por ejemplo los bosques andino-patagónicos). También

deben ser incluidos los pinares donde se conjugan una lenta descomposición de las acículas secas y la presencia de aceites y resinas inflamables en los materiales verdes.

Otra condición indispensable para la quema de los bosques es la existencia de condiciones desecantes particularmente intensas, como las que prevalecen al final de la época seca o durante la ocurrencia del viento Norte en el Chaco, o del viento Zonda en el Centro y Sur del país.

En síntesis, el fuego para ser ecológicamente relevante no puede ocurrir en cualquier lugar, ni en cualquier momento ni con cualquier material. Trasladando estas observaciones a un nivel regional, puede afirmarse que existen regiones que tienen incorporado al fuego como factor de acción regular, altamente predecible; otras en las que siendo un evento aperiódico se manifiesta como un disturbio y otras, en las que si bajo condiciones excepcionales se manifestara, constituiría una catástrofe.

2.1. El fuego a nivel regional

Probablemente los aspectos espaciales del comportamiento del fuego sean uno de los temas en los que el conocimiento es más pobre. Surgen diversas dudas como ser cuál es el grado de heterogeneidad resultante de la acción del fuego, qué factores lo causan o cuáles son las consecuencias para el posterior reclutamiento de especies.

El conocimiento de los patrones espaciales permite una mejor definición acerca de la naturaleza y extensión de ciertas interacciones posteriores al paso del fuego. Un claro ejemplo es el de la inmediata atracción hacia las áreas quemadas, de herbívoros por un lado (en busca de pastos tiernos) y de predadores por el otro (atraídos por la mayor densidad de presas). El conocimiento de los patrones espaciales resulta de importancia en términos teóricos como elemento de la Ecología del Paisaje (De Pietri, 1993). Sin embargo, constituye también un elemento necesario para el manejo del fuego tanto en áreas destinadas a producción como en áreas protegidas.

La mayoría de los incendios genera un patrón de distribución en parches, como resultado de la variabilidad de las condiciones del viento, la topografía y los depósitos de combustibles. El parcheo no sólo sería una característica de la mayor parte de las áreas afectadas por fuegos, sino que permite que los patrones espaciales sean relativamente predecibles (Braithwaite y Estbergs, 1985).

2.2. El fuego a nivel local

La primera consecuencia del pasaje del fuego es la reducción de la biomasa por la remoción

de tejidos muertos, por los daños en ramas expuestas y, en algunos casos, por la muerte de ejemplares vivos. Los resultados que produce son rápidos, sean ellos positivos o negativos (Morello y Adámoli, 1974). Un incendio modifica las tasas de crecimiento y de reproducción, cambia la disponibilidad y uso de los recursos y altera distintas relaciones entre organismos, como por ejemplo la competencia.

La gran mayoría de los fuegos afecta básicamente al estrato herbáceo, inclusive en regiones forestales. Este tipo de incendios deja huellas poco perceptibles. Los incendios de bosques propagados por copas son relativamente excepcionales siendo éstos los que provocan cambios fisonómicos perceptibles en fotos aéreas e imágenes satelitales. A pesar de predominar los fuegos de superficie, los troncos y ramas de las especies leñosas, suelen ser afectados hasta una altura del orden de 1,5 - 3 m. A nivel de un individuo pueden implicar la muerte de una rama o la inducción de deformaciones por la muerte de las yemas terminales. A nivel evolutivo, una alta frecuencia de incendios favorece la selección de especies con estructuras de defensa o inclusive un ajuste en los ritmos biológicos como por ejemplo la floración (Coutinho, 1982).

En regiones como el Chaco Húmedo la productividad del estrato herbáceo es muy elevada. Predominan los pastizales y pajonales altos, con especies fibrosas. El nivel de herbivoría es insuficiente, lo que genera una acumulación de material combustible. El fuego restringe el reclutamiento de leñosas al de las especies más tolerantes, lo que favorece el equilibrio con las herbáceas. Fenómenos semejantes pueden observarse en Brasil, en el Pantanal y en las partes más húmedas de los Cerrados.

Por el contrario, en el Chaco Seco la producción anual del estrato herbáceo es menor. Las especies son en general más palatables, el consumo de la biomasa producida es mayor y por lo tanto la acumulación es menor. En estas condiciones, y especialmente cuando se dan condiciones de sobrepastoreo, se favorece la invasión de leñosas, particularmente con ejemplares de los estratos arbustivo y arbóreo bajo (Morello y Saravia Toledo, 1959; Adámoli *et al.*, 1990).

2.2.1. El fuego en fisonomías de pastizales y sabanas

El fuego es un factor regulador clave en la dinámica de los ecosistemas de sabanas y pastizales. Su acción es determinante sobre la relación herbáceas / leñosas, favoreciendo el desarrollo de las primeras, especialmente en el Chaco Húmedo. En el Chaco Seco, es el responsable de la generación de numerosos parches de pastizal que interrumpen la matriz de bosques.

De no repetirse la quema, el área boscosa afectada se recuperará al cabo de algunas décadas, aunque frecuentemente tales áreas son incendiadas recurrentemente para aprovechamiento ganadero del pastizal resultante.

Sarmiento y Silva (1997) aplicaron un modelo de estados y transiciones a las sabanas estacionales de Venezuela, cuyos principios son aplicables al Chaco Húmedo. Los estados están determinados por la frecuencia de quemas y, consecuentemente, las variaciones de esta frecuencia inducen las transiciones de un estado a otro.

En el estado de sabana abierta, con una densidad de leñosas entre 10 y 100 ind/ha¹ y una frecuencia de quemas cercana a una por año, la biomasa aérea y la necromasa en pie siguen un patrón anual de desarrollo muy característico, con un mínimo de biomasa aérea verde inmediatamente después de la quema, un máximo hacia mediados de la estación lluviosa y un pico de biomasa aérea total (la mayor parte necromasa) inmediatamente antes de la quema. La combustión en este sistema es la principal vía de liberación de nutrientes minerales.

El fuego se usa como una herramienta de manejo en la producción ganadera. Poco tiempo después de la quema, se produce el rebrote, etapa en la que el valor nutritivo, la concentración de nitrógeno y de proteína bruta alcanzan sus niveles máximos. A medida en que el follaje envejece, los nutrientes son trasladados hacia los meristemas y hojas jóvenes, de modo que la palatabilidad y el valor nutritivo decrecen hasta hacerse mínimos en la necromasa en pie.

Si se prolonga el período entre dos quemas, la densidad de árboles aumenta levemente, pero al quemarse la sabana, la presencia de más combustible genera mayor intensidad del fuego, lo que induce a su vez a una mayor mortalidad de plántulas y ejemplares juveniles.

Con quemas cada tres o cinco años, se alcanza una nueva condición de equilibrio con una mayor densidad de árboles. En este estado de sabana cerrada, el pico anual de biomasa herbácea verde es menor en cada año sucesivo por el efecto negativo de la acumulación de necromasa en pie. En dicho período, la biomasa de leñosas aumenta hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio. En la sabana cerrada la oferta forrajera para herbívoros es mayor que en la sabana abierta, pero su valor nutritivo es mucho más bajo por estar formada en su gran mayoría por necromasa de bajo valor alimenticio. Cuando finalmente se produce la quema, el efecto del fuego es mucho más destructivo por la gran acumulación de combustible. No obstante, la mortalidad de árboles adultos es baja.

3. Tipos de vegetación originados por fuego

3.1. Pastizales pirógenos

Son los pastizales originados por incendios que eliminan la cubierta forestal y dan origen a un fuerte rebrote del estrato herbáceo. Se mantienen como pastizales mientras se siga quemando. Si cesa el fuego, las leñosas avanzan y recuperan el área.

El pastizal representa una etapa pionera hacia la reconstitución del bosque o arbustal. Las gramíneas más importantes son el pasto crespo (*Trichloris crinita* o *Trichloris pluriflora*), los sorguillos (*Gouinia paraguayensis* y *Gouinia latifolia*) y la cola de zorro (*Setaria argentina*). Si se mantiene como pastizal, con sobrepastoreo generalizado, son frecuentes la cola de zorro (*Setaria gracilis*), camalote (*Digitaria insularis*), pasto cuaresma (*Digitaria sanguinalis*), *Sporobolus phleoides* y *Pappophorum mucronulatum*.

Algunos pastizales pirógenos se originan en incendios de quebrachal de santiagueño y blanco con carandilla (*Schinopsis lorentzii*, *Aspidosperma quebracho-blanco*, con *Trithrinax biflabellata*). Estos pastizales se originan por el incendio de las depresiones (las porciones más ricas en combustible celulósico) del bosque y de los deslindes entre el bosque y el aibal. Se mantienen como pastizales si se incendian anualmente, en caso contrario se inicia una evolución que puede describirse en cinco etapas de sucesión (dos de pastizal, dos de arbustales y una de prebosque), terminando con la reconstitución, al menos parcial, del quebrachal (Morello y Adámoli, 1968 y 1974).

Los pastizales pirógenos ocupan una posición topográfica intermedia entre el bajo de *Elionurus* (aibal) y el bosque. Se ubican con frecuencia en depresiones imperceptibles y amplias enclavadas en el quebrachal de *Schinopsis lorentzii*. Siempre presentan reliquias vivas o muertas de árboles adultos. El suelo es forestal (castaño forestal) con tendencia a evolucionar como suelo de pradera. Hay *Elionurus* pero muy escaso y localizado en paleocauces. Florísticamente no tiene dominante neto. Los pastos de mayor cobertura son: *Pappophorum alopecuroideum*, *Trichloris pluriflora*, *Gouinia latifolia* y *Digitaria californica*. Las leñosas arbustivas o subarbustivas que las acompañan son *Aloysia gratissima*, *Mimosa detinens* y *Prosopis alba* (este último mantenido como arbusto por los incendios).

Las leñosas invasoras de los pastizales pirógenos son heliófilas, componentes del segundo y tercer estrato arbóreo de los bosques circundantes, tales como tusca (*Acacia aroma*),

garabato (*Acacia furcatispina*), garabato negro (*Acacia praecox*), brea (*Cercidium praecox*), algarrobo blanco (*Prosopis alba*), algarrobo negro (*Prosopis nigra*), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), etc.

3.2. Bosques inflamables

Hay antiguos bosques que hoy son carandillares casi monoespecíficos con suelo desnudo. La carandilla no sólo es resistente al fuego y núcleo de propagación de incendios, sino que su reproducción vegetativa estaría estimulada por la quema. Este tipo de vegetación se originaría a partir del quebrachal con carandilla, que básicamente es un bosque alto o muy alto, que se asienta sobre suelos de excelente capacidad agrícola, en el cual codominan *Schinopsis lorentzii* (quebracho santiagueño), *Schinopsis balansae* (quebracho chaqueño) y *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco), pero con fuerte densidad de *Trithrinax biflabellata* (carandilla), la que por medio de su estípite cubierto de pilosidades, se convierte en elemento importante para la propagación de incendios (Morello y Adámoli, 1974). El problema de la evolución posterior a la quema de esos bosques con carandilla es grave, porque son paisajes donde al incendio le sucede una erosión acelerada. No se reconstituye la masa forestal y si hay sobrepastoreo, se transforman en peladares con carandilla.

3.3. Los "Quemados"

Son arbustales con enormes superficies de suelo desnudo, donde la erosión ha descabezado los suelos, en los que sólo arraigan algunas leñosas que han retenido un poco de tierra en sus raíces. Estos arbustales con suelo desnudo no se queman homogéneamente ya que no pueden transmitir una onda de inflamación. En este paisaje dominan *Prosopis nigra* (algarrobo negro), *Zizyphus mistol* (mistol), *Capparis speciosa* (sacha limón), *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco), *Castela coccinea* (meloncillo) y *Capparis salicifolia* (sacha sandía).

4. Mapa de incendios forestales en el Chaco argentino. Metodología, resultados y discusión

4.1. Detección y cuantificación de áreas quemadas en bosques del Chaco Seco

La relevancia del fuego como factor modelador del paisaje chaqueño motivó la realización

de un relevamiento de las áreas afectadas por incendios forestales en esta región.

4.2. Materiales y Métodos

Se trabajó con cartas-imagen del Instituto Geográfico Militar, escala 1:250.000, compuestas a partir de imágenes satelitales Landsat TM. Cada carta-imagen se dividió en 24 unidades de muestreo de 15' lat. x 15' long. (aprox. 68.750 ha), sobre las que se calculó el porcentaje de la superficie ocupada por incendios forestales. Este cálculo se realizó estimando visualmente la proporción de cada unidad de muestreo, afectada por incendios. Para facilitar y dar precisión a la estimación se utilizó una grilla transparente del tamaño de la unidad de muestreo dividida en 16 rectángulos. Posteriormente se sumaron los dieciséis datos para asignar un valor general a cada unidad de muestreo, que se expresó como el porcentaje del área que presenta rastros de incendios relativamente recientes. Aunque el área abarcada por una unidad de muestreo varía con la latitud (disminuye hacia el sur), al expresar los resultados en porcentajes, estas diferencias se consideraron despreciables.

Solo fueron considerados los incendios forestales recientes, cuyos contornos resultan evidentes en las imágenes satelitales. No se consideraron los incendios más antiguos, que en el

campo presentan comunidades con alto grado de recuperación, dado que sus límites resultan poco claros. En los resultados no fueron incluidos los incendios sobre los que se detecta parcelamiento (actividad agrícola), pues éstos no representan áreas de bosque perdidas por efecto del fuego en el período considerado. Es decir, en estos casos se consideró que el bosque fue sustituido por la agricultura. Como se discutirá más adelante, una parte importante de la agricultura ocupa áreas originalmente afectadas por incendios.

Para los numerosos casos de incendios muy pequeños, cada elemento de la grilla (1/16) fue a su vez subdividido en dieciséis sectores. Las áreas incendiadas, inferiores a 1/256 de la unidad de muestreo (1/16 de 1/16) no fueron consideradas en el cálculo, aunque se registró su presencia.

Los manchones de vegetación boscosa, ubicados aisladamente dentro de áreas afectadas por incendios y con superficies inferiores a 1/256 de la unidad de muestreo, se incluyeron dentro del cálculo de área afectada por incendios.

4. 3. Resultados:

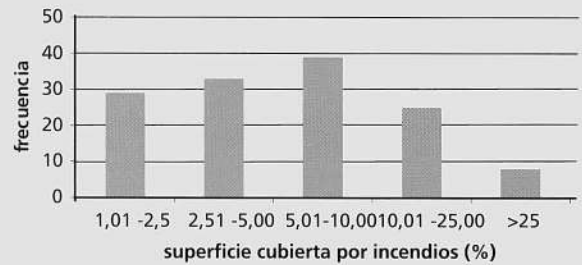


Figura 2: Frecuencias de clases en áreas afectadas por incendios.

4. 4. Discusión

4.4.1. Tipologías de Incendios

Los incendios forestales pueden ser detectados en estas imágenes mientras el ambiente original no se restaure. Mientras esto no ocurra el incendio se destaca por su forma y por su color. Pueden clasificarse según el estadio de la sucesión que sigue a la quema. La gran mayoría de las áreas quemadas presenta una definida orientación Norte-Sur, claramente determinada por los vientos fuertemente desecantes que circulan en esa dirección en la región (Viento Norte).

Las áreas incendiadas recientemente, con alto porcentaje de suelo desnudo, se caracterizan por su coloración rojiza. Sus límites se identifican con precisión y en algunos casos se pueden observar las distintas "lenguas" que compo-

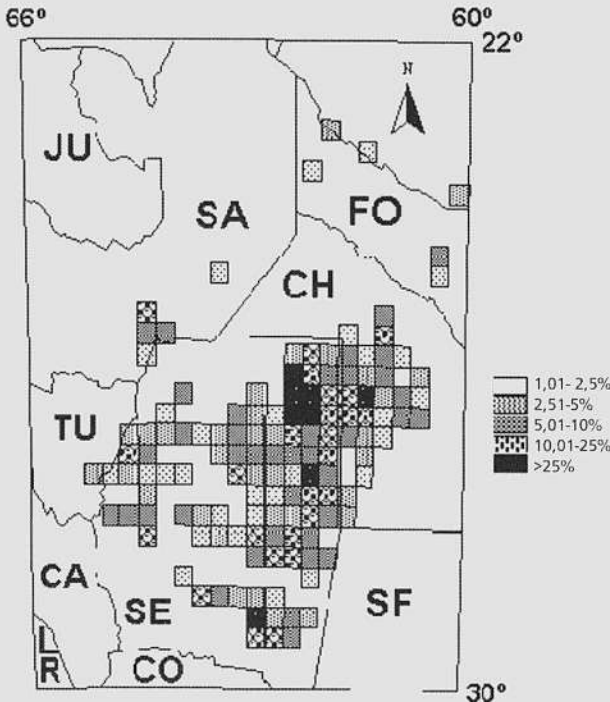


Figura 1: Porcentaje de cobertura de incendios en la región chaqueña según el código:

nen el incendio (Ver esquema). Los incendios más antiguos pierden en las imágenes la coloración rojiza que es reemplazada por distintas tonalidades de verde (claro cuando predomina el pastizal y más oscuro en áreas con fuerte presencia de leñosas, propias del restablecimiento del bosque o el fachinal). En este caso los límites del incendio se vuelven más difusos.

En algunos casos las mismas zonas son incendiadas recurrentemente, pudiéndose observar un incendio reciente (rojizo) sobre uno más antiguo (verde).

En el extremo norte de las improntas es a veces posible identificar el lugar de origen del fuego, como por ejemplo un paleocauce o un camino. De la misma manera, en algunas ocasiones, se puede visualizar una ruta o picada como cortafuego total o parcial en el extremo opuesto (sur) del área quemada.

4.4.2. Persistencia en el tiempo

Las áreas quemadas recurrentemente se evidencian en zonas donde se presenta diferente coloración (que representa diferente cobertura del suelo). Los incendios se emplean para mantener los campos abiertos, como una forma de inducir el rebrote del pastizal con fines ganaderos.

Para una parte del área de estudio se cuenta con mosaicos de fotografías aéreas de 1957, de 1962, y con imágenes satelitales del año 1976. En ellas pueden identificarse áreas afectadas por incendios, que permanecen claramente reconocibles en las imágenes correspondientes a 1995-96. Por el contrario, de otras áreas evidentemente quemadas hace 50 años, ya no quedan rastros. Esto estaría aportando información acerca del tiempo necesario para alcanzar estadios sucesionales posteriores (fachinal, arbustal o bosque) luego del paso del fuego.

4.4.3. Los incendios forestales y la habilitación de tierras para ganadería y para agricultura

La ganadería extensiva se expandió junto con el proceso de colonización agrícola de la región desde principios del siglo XX. Esto generó una rápida degradación de los ecosistemas originales, traducida en una notable caída en el potencial forrajero de los campos nativos y profundos cambios en la configuración del paisaje. Sin embargo, cabe destacar que la situación de degradación está relativamente estabilizada (la situación actual es equivalente a la de 20 ó 40 años atrás) debido a la severa restricción de la carga animal causada por el empobrecimiento de los recursos.

La mayor degradación se presenta alrededor de los puestos, por la mayor concentración de la hacienda en torno a las aguadas y por ser el área

de forrajeo de cabras. La fisonomía clásica es la de un peladar con escasos árboles, abundancia de cactáceas y suelo desnudo con altos niveles de erosión y compactación, constituyendo un pavimento casi inerte. Sin embargo esta fisonomía es espacialmente restringida a un círculo de 500 ó 700 metros alrededor del puesto es decir, una superficie de 25 a 50 hectáreas.

El resto del área presenta un tipo diferente de degradación, debido básicamente a la pérdida del estrato herbáceo y un incremento notable del arbustivo. Esto determinó una caída en la receptividad de los campos, lo que estabilizó la nueva configuración del paisaje pero al mismo tiempo hizo que resultaran mucho menos afectadas las propiedades físicas y químicas de los suelos (Adámoli *et al*, 1990).

El primer efecto del sobrepastoreo fue una pérdida de la habilidad competitiva de los pastos lo que favoreció a las leñosas. La menor biomasa herbácea y la aparición de discontinuidades determinaron un corte en el ciclo natural del fuego. La respuesta resiliente del sistema fue el cambio de su configuración con predominio del estrato arbustivo sobre el herbáceo. Esta caída en la productividad forrajera, hizo que los ganaderos procuraran incrementar las superficies ocupadas por pastizales mediante el uso del fuego. Las grandes "lenguas" resultantes de los incendios forestales se transformaron en poco tiempo en pastizales.

4.4.4. Parcelamiento agrícola

Algunas superficies originalmente quemadas con fines ganaderos fueron posteriormente ocupadas para aprovechamiento agrícola. En algunos casos las parcelas tienen límites irregulares debido a que llegan hasta el borde mismo del área afectada por el incendio, mientras que en otros, tienen una forma regular (parcela agrícola) superpuesta a la irregular del incendio. Este proceso fue documentado siguiendo las marcas de incendios registradas en mosaicos de fotografías aéreas de 1957, cuyos contornos son perceptibles en las imágenes de 1995.

La agricultura requiere necesariamente la eliminación de la cubierta original (bosque o pastizal) y su reemplazo por la especie introducida. Esto implica la pérdida de los elementos estructurales y funcionales y una drástica caída de la diversidad a nivel de la parcela.

Desde los primeros tiempos de las colonias algodoneras, los productores utilizaron las áreas quemadas para instalar sus parcelas, respetando los límites de las lenguas de fuego originales. Esto se explica por la mayor facilidad para incorporar dichas tierras al cultivo con herramientas manuales o con equipos de baja potencia en vez de tener que hacer un desmonte pesado.

En la actualidad se mantiene la misma actitud y los lotes agrícolas ocupan básicamente áreas previamente quemadas. Esta forma de habilitar tierras para la agricultura fue predominante en el área de la frontera Santiago del Estero-Chaco, durante la gran expansión agrícola generada en los altos niveles alcanzados por el precio del algodón, entre los años 1992-1996. Esto permite prever que, en caso de consolidarse una fuerte presión para el avance de la frontera agrícola, ésta probablemente será precedida por grandes incendios.

Cabe mencionar que en los últimos años, acompañando al proceso de concentración de renta que se implantó en el país, los desmontes para agricultura en grandes propiedades, incluyen el uso de maquinaria pesada, sin seguir necesariamente el trazado de incendios antiguos.

4.4.5. Balance de CO₂ con siembra directa y perspectivas de expansión agrícola. El papel de las áreas quemadas.

La agricultura es una de las principales actividades emisoras de CO₂ a la atmósfera, uno de los principales gases de efecto "invernadero", responsables del calentamiento global. Como ejemplo, la emisión media anual de CO₂/ha⁻¹ en la pampa húmeda, sin considerar el aporte de la quema de rastrojos y asumiendo una disminución exponencial simple, es de 0.33 ton C/ha (Andriulo *et al.*, 1996).

Aunque el 75% de las emisiones de CO₂ provienen de los países industrializados, Argentina como país agro exportador, asumió el compromiso de reducir sus emisiones de CO₂. Un elemento importante en esta estrategia, es la siembra directa. Es de prever que si la presión para la expansión de la frontera agrícola persiste, las nuevas tierras destinadas a la producción agrícola sean explotadas bajo siembra directa.

Se estima que para el año 2010, un 72% de la superficie agrícola será trabajada bajo siembra directa y esto representará una disminución del 63% en la emisión de CO₂ con respecto a las mediciones de 1997, cuando solo el 24% de la superficie agrícola era trabajada con este sistema. Estos efectos positivos de la siembra directa sobre el balance del carbono pueden ser anulados por la emisión de CO₂ en la quema de bosques si ésta fuera la técnica utilizada para el desmonte. Por eso es necesario cuantificar e incluir esta emisión de CO₂ en el cálculo global para conocer el efecto neto de la expansión agrícola mediante quemaduras y la siembra directa sobre el balance del carbono.

Esquema:

Un gran incendio, cuyo contorno corresponde a la Fig. 3a, puede estar constituido por la

coalescencia de diversas lenguas Fig. 3b. Entre las lenguas, suelen quedar parches longitudinales de bosque. La ubicación aproximada del origen del fuego es 27° 15' S, 63° 03' O.



Figura 3a. Incendio detectado en la carta imagen Santiago del Estero IGM 1:250.000

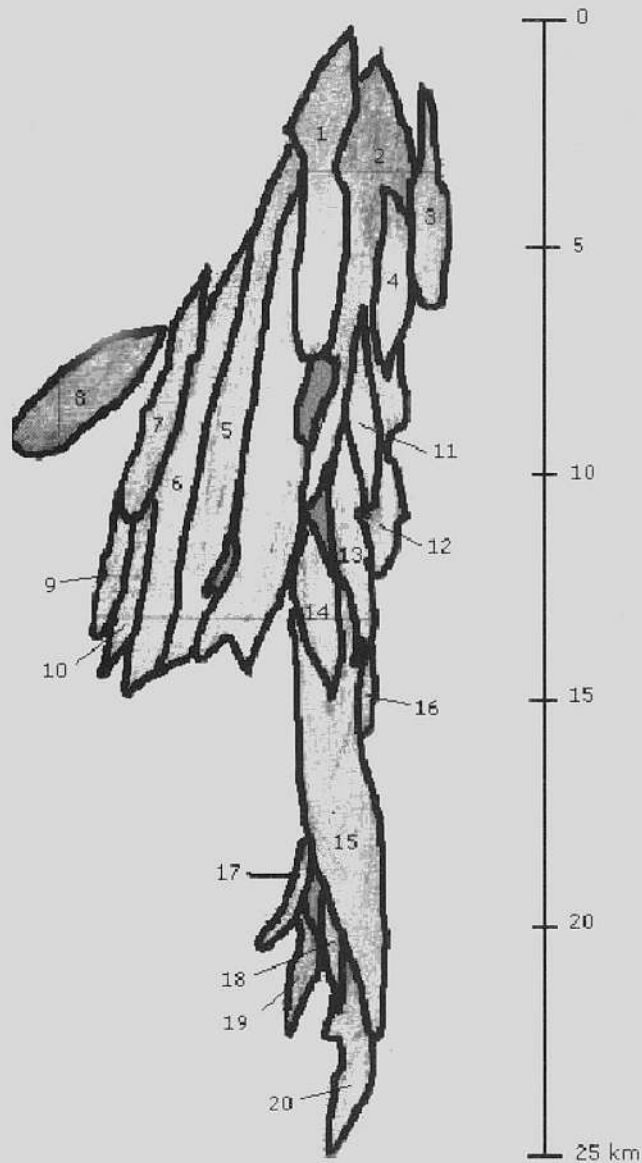


Figura 3b. 1-20 Posibles lenguas.
 — Remanentes de bosque.

5. Bibliografía

Adámoli J., E. Sennhauser, J. Acero y Rescia. 1990. Stress and disturbance: vegetation dynamics in the dry Chaco region of Argentina. *Journal of Biogeography* 17:491-500.

Adámoli J. 1991. Los bosques tropicales y su relación con dos temas de actualidad: calentamiento global y canje de deuda por naturaleza. *Propuesta y Control*, Año XV, Jul-Ago 1804-1820.

Andriulo A., J. Galantini, F. Abrego y F. Martínez F. 1996. Exportación y balance edáfico de nutrientes después de 80 años de agricultura continua. XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. 4 al 8 de agosto de 1996. Aguas de Lindoia. SP. Brasil.

Braithwaite R. y J. Estbergs. 1985. Fire patterns and woody vegetation trends in the Alligator Rivers region of North Australia. p. 359-364. En: J. Tothill y J. Mott (eds.), Ecology and management of the world's savannas. Australian Academy of Science, Canberra.

Coutinho L. 1982. Ecological effects of fire in Brazilian Cerrado. p. 273-291 En: B. Huntley y B. Walker (eds.), Ecology of tropical savannas. Springer-Verlag, Berlin.

De Pietri D. 1993. Dinámica de alteraciones por fuego y ganadería en un sistema forestal del Parque Nacional Los Alerces. Tesis de doctorado, FCEN/UBA.

Morello J. y C. Saravia Toledo. 1959. El bosque chaqueño I y II. Rev. Agronómica del Noroeste Argentino 3: 51-81.

Morello J. y J. Adámoli. 1968. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino. Parte I: Metodología. INTA, Serie Fitogeográfica, N°10 1-125

Morello J. y J. Adámoli. 1974. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino. Parte II: vegetación y ambiente de la Provincia del Chaco. INTA, Serie Fitogeográfica, N°13. 1-125

Sarmiento G. y J. Silva. 1997. Un modelo de estados y transiciones de la sabana estacional de los llanos venezolanos. Ecotrópicos 10 (2). 51-64.

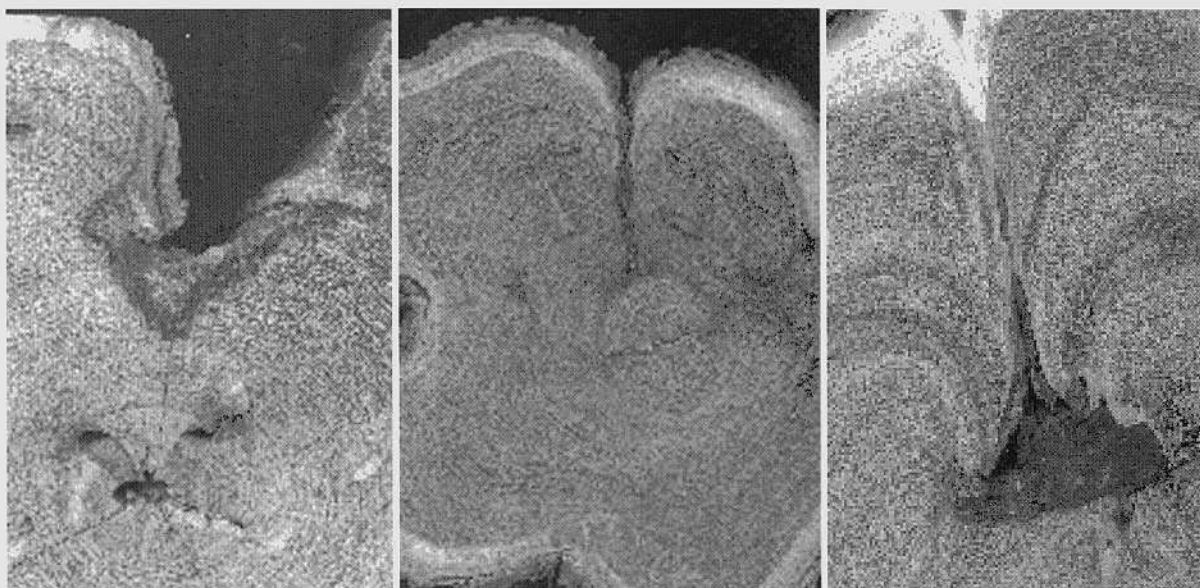
Sarmiento G. 1984. The ecology of neotropical savannas. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. 1-235

Uhl C., J. Boone Kaufmann y E. Dias da Silva. 1992. Los caminos del fuego en la Amazonia. Ciencia Hoy, Vol 4 N° 19 25-32

Walker B. 1987. A general model of savanna structure and function. En: B. Walker (ed.) Determinans of tropical savannas, IUBS, Monograph Series N° 3. 1-12.

El fuego y el crecimiento de *Prosopis nigra*

Ana María Giménez¹



Daños de fuego en *Prosopis nigra*

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Stgo del Estero. e-mail: amig@unse.edu.ar

1. Introducción

Desde tiempos inmemoriales los incendios forestales han constituido un factor importante en el ecosistema forestal. En algunos casos, la flora, fauna y aún las culturas humanas han sido ampliamente modificadas por la ocurrencia de incendios forestales. Las principales causas del fuego en los ecosistemas forestales son la irradiación y la actividad humana en forma accidental o deliberada. El estudio de la historia del fuego en una región a lo largo del tiempo permite conocer, interpretar y evaluar los cambios que se producen en las comunidades vegetales resultando un importante factor ecológico. Los árboles resistentes al fuego comienzan a convertirse en las especies dominantes del área.

Mediante el análisis de las heridas y los daños causados en el árbol por el fuego, es posible datar los mismos y determinar sus frecuencias históricas. La datación de los incendios forestales puede ser cotejada con cronologías existentes para una determinada especie y región. Esta información es importante en la determinación de los regímenes de fuego de áreas específicas así como el período de tiempo en que ocurrieron, permitiendo interpretar el ecosistema y los cambios posteriores. Con tal información podrá conocerse el estado de la comunidad biológica si se excluye el efecto del fuego en la misma (Arno y Schneck, 1977; Stokes, 1980; Heinselman, 1982).

El análisis del daño producido por el fuego implica tanto la datación de los incendios como la cuantificación de las heridas producidas al leño normal. El daño producido en la cubierta boscosa y la quema de biomasa causan una pérdida significativa de recursos productivos, afectando el ambiente y la calidad atmosférica. Además ocasionan daños directos e indirectos en la economía de un país. Otro factor importante es el momento en que se produce el fuego. Si afecta al bosque en los primeros años de vida, la pérdida puede ser total; en cambio si se produce en un bosque maduro, la madera rescatable tiene serias dificultades de venta.

La industria celulósica rechaza la madera por los restos de carbón que disminuye la calidad del papel, en madera aserrada pierde valor con respecto a la madera sana. La madera afectada debe ser procesada inmediatamente para evitar que insectos y hongos desmejoren aún más la calidad.

El fuego daña la madera produciendo heridas que están relacionadas a la intensidad, edad de la planta y a sus propias características. Dieterich y Swetnam (1984) clasifican el daño en tres categorías: rajadura tangencial a lo largo

de la banda de crecimiento; carbonización continua a la rajadura y/o subsiguiente crecimiento irregular y curvilíneo posterior a la herida. Las principales barreras anatómicas al fuego son: presencia de una corteza desarrollada, con acumulación de varias peridermis, elementos fibrosos abundantes de la madera y cambium vascular con alta capacidad de división y recuperación.

En muestras analizadas para estudios de crecimiento de *Prosopis nigra* (algarrobo amarillo), solicitado por la ONG Fundapaz de Santa Fe, se observaron importantes heridas de fuego. Esto determinó la realización del presente trabajo con los siguientes objetivos:

- Analizar las estructuras anatómicas del leño y la corteza relacionadas a la resistencia al fuego.
- Caracterizar los daños producidos en la madera.
- Fechar incendios.
- Caracterizar los anillos post-fuego.
- Cuantificar el daño producido en la madera.
- Evaluar la influencia del fuego en el crecimiento.

2. Material y métodos

El trabajo se desarrolló en la Cátedra de Dendrología del Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques de la Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.

El material fue colectado por el Ing. M. Simón, técnico de Fundapaz, Vera, Santa Fe, en el marco de un proyecto Manejo Sustentable en la Cuña Boscosa de Santa Fe. El área de trabajo correspondió a 200.000 has, comprendiendo lotes de pequeños productores de la zona. Se realizó como primera actividad un inventario forestal, con levantamiento de datos a través de un muestreo sistemático de 5% de intensidad, con el objeto de hacer una tabla de volumen, para posteriormente diseñar un plan de manejo.

Se apearon 75 individuos de la especie *Prosopis nigra* y *P. nigra var. ragonesei*, Mimosaceae, en 5 sitios del área de trabajo. De cada uno de ellos se extrajo una rodaja tomada a 20 cm de altura. Se trabajó con 10 individuos por clase diamétrica de 10 cm. Del total de los árboles estudiados, 15 presentaron heridas de fuego y es la muestra que se trata en el trabajo.

Las rodajas se cepillaron y lijaron hasta tener una superficie lisa que demarque con la mayor fidelidad los anillos de crecimiento. Para el estudio de anillos de crecimiento se trabajó con las secciones transversales obtenidas a las alturas de 0.20 m, determinándose las orienta-

ciones Norte, Sur, Este y Oeste. La marcación y medición de anillos se efectuó con el Equipo Computarizado ANIOL y el programa CATRAS (Aniol, 1991). En este procedimiento se consiguió el número de años y el espesor del anillo con una precisión de centésima de milímetro.

El análisis epidométrico de los árboles se realizó con el programa de computación AE (Ríos et al., 1996), que calcula la evolución en diámetro, sección, volumen de fuste, incremento medio anual e incremento corriente. Se trabajó con las mediciones de espesor de anillos obtenidas en el CATRAS. Se sincronizó los anillos manualmente y por cuadrantes, a fin de tener diferencia de edad (± 2 años). Los datos fueron exportados en ASCII e introducidos al AE. Las mediciones se efectuaron de corteza a médula, ya que el programa AE así lo requiere. El AE promedia el espesor de anillos de las cuatro orientaciones medidas y a partir de este dato medio, genera la planilla de diámetro, sección y volumen de fuste en función de la edad. Se graficó la evolución de cada parámetro en función de la edad utilizando el programa Excel. Versión 7.0.

Se calculó además el IA (Incremento anual) y el IMA (incremento medio anual) para el volumen de fuste, comparándose la zona afectada y la sana para cada árbol. Para cuantificar el daño en el crecimiento se trabajó sobre el radio que comprende la herida y el opuesto. Se analizó el espesor y el número de los anillos de crecimiento en referencia al radio en la zona con fuego y en la opuesta. La magnitud de la herida fue tomada en función del perímetro del fuste en momento del fuego y se expresó en %.

3. Resultados

3.1. Barreras anatómicas contra la acción del fuego

Las principales barreras anatómicas al fuego son: presencia de una corteza desarrollada, con acumulación de varias peridermis, elementos fibrosos abundantes de la madera y cambium vascular con alta capacidad de división y recuperación. A continuación se analizarán los parámetros de resistencia en algarrobo negro.

3.1.1. Caracteres de corteza

La corteza forestal es desarrollada, del tipo dehiscente, fisurada longitudinalmente, con un espesor de corteza total medio de 1,6 cm. (cat. 5 corteza muy gruesa), corteza viva de 0,24 cm., ritidoma de 1,31 cm (cat. 4 ritidoma muy grueso), de estructura laminar, con exudados ocasionales de origen traumático.

La corteza interna funcional es escasa (corteza viva). La estructura floemática es regular, con un tejido duro formado por fibras en placas superpuestas medianas ($3.169 \mu^2$), dispuestas al mismo nivel tangencial (Figura 1 a y b). El tejido duro constituye el 23% del tejido floemático. Cristales de oxalato de calcio en capas de células septadas acompañan las fibras floemáticas. El ritidoma es escalar, con placas pequeñas y acumula hasta 7 capas peridérmicas (Figura 2), lo que hace de este tejido un buen aislante.

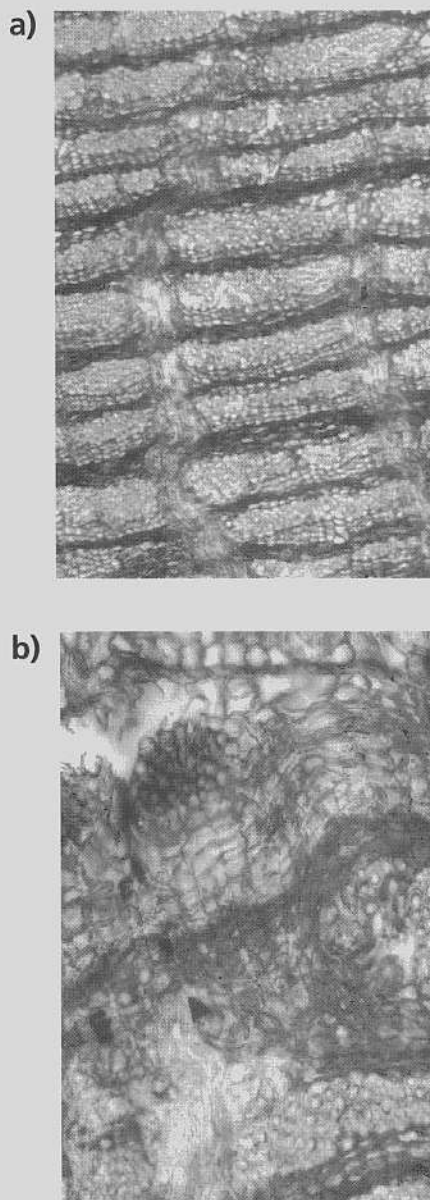


Figura 1. Corteza de *Prosopis nigra*. 1a. Floema con fibras en placas superpuestas. 1b. Peridermis.

La corteza total se incrementa con la edad hasta alcanzar un máximo de 2 cm. de espesor. Este crecimiento ajusta a una función polinómica de segundo grado con R^2 : 0.587 y un coeficiente de correlación 0.76.

3.1.2. Caracteres de leño

La composición porcentual de tejidos es la siguiente: poros (20-30-50); parénquima (10-34-48), fibras (30-36-50). Las fibras libriiformes, son cortas con longitud media de 1217.4 μ m (cortas), diámetro de 14.1 μ m y de pared gruesa (4.4 μ m). La dureza de la madera, determinada por el alto % de tejido fibroso, así como la presencia de fibras de pared celular gruesa, constituyen una buena barrera a los efectos del fuego. Como elemento negativo se indica la presencia de exudados gomosos solubles en agua, ocluyendo el lumen de los vasos del duramen, que pueden actuar como material comburente.

3.1.2. Caracteres de cámbium

Respecto a la capacidad de división y recuperación del cámbium, se expresa en este trabajo a partir del análisis de espesor de anillos y de la evolución del volumen del fuste.

3.3. Anillos de crecimiento

Prosopis nigra presenta anillos de crecimiento definidos por una banda de parénquima marginal de hasta tres estratos de células, correspondiente de tipo 2 de Coster (Figura 3 a y b). En el anillo hay gradación de poros entre leño temprano y tardío. El leño temprano presenta poros grandes y poco numerosos al inicio del anillo, el leño tardío poros pequeños y numerosos, con predominio de poros racemiformes. Por ello es factible determinar con precisión los anillos y fechar incendios.

3.4. Fechado de incendios

En la Figura 4 se muestran los incendios fechados en los distintos individuos. Se observan tres períodos importantes de la acción del fuego en el bosque objeto de estudio: en la década del 20, en la del 40 y la frecuencia de las heridas de fuego se incrementan a partir de 1960.

3.5. Fuego y crecimiento

El espesor de los anillos de crecimiento de *P. nigra* varía con la edad y ajusta a una función polinómica de tercer grado con R^2 de 0,4049 (Figura 5). El espesor promedio de los anillos de crecimiento es de 2.262 mm (1.41-



Figura 2. Heridas de fuego en la madera de *P. nigra*.

3. 2. Efecto del fuego en el leño

3.2.1. Heridas

Las heridas producidas por el fuego en la madera (Figura 2) presentan las siguientes características:

1. Callo de cicatrización con proliferación de tejido blando parenquimático, que contiene exudados gomosos-tánicos.

2. Fenda tangencial que origina la acebolladura de la madera, seguida por una zona carbonizada.

3. Crecimiento irregular del anillo en la zona dañada por reconstitución paulatina del área cambial destruida, el cámbium cierra progresivamente la herida.

4. Presencia de corteza incluida en el leño producto de la cicatrización de la herida.

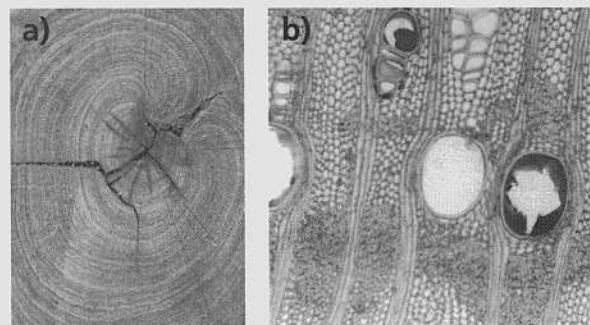


Figura 3. Leño de *P. nigra*. 3a . Macroscopía de leño. 3b. Microscopía de leño.

4.14), S: 0.47 y CV%: 17.9. El fuego produce en la madera variación en el espesor de los anillos.

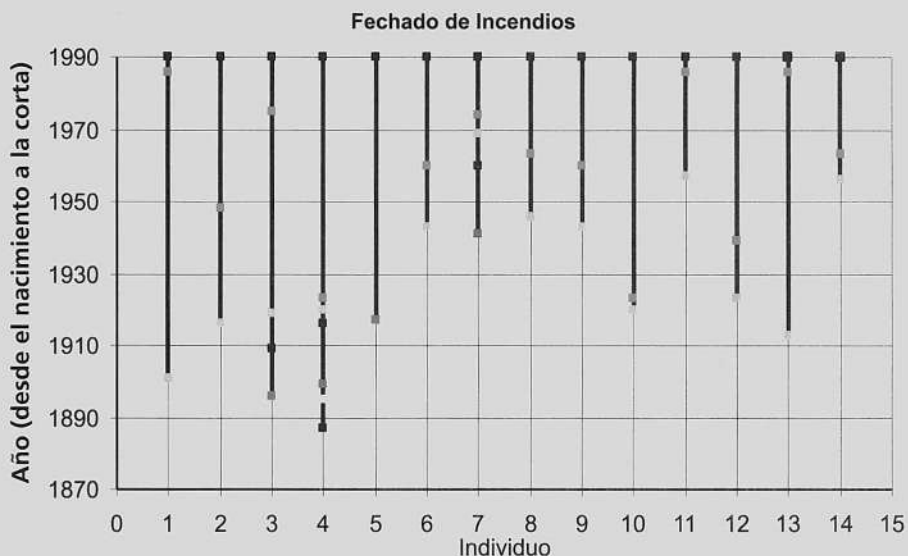


Figura 4 - Fechado de incendios

Nota: se consigna para cada árbol la edad de corta (1990) y la de nacimiento que corresponde al primer punto de cada serie. El resto de las marcas son los incendios fechados.

En la Tabla 1 se indica el espesor medio de anillos en la zona sana y en la dañada a 0.3 m de altura (Giménez *et al.*, 2000, 2001; Giménez y Ríos, 1999). Las diferencias son altamente significativas para los anillos con y sin fuego, lo que posteriormente se manifiesta en el crecimiento volumétrico del fuste.

Tabla 1- Cuadro comparativo

Espesor anillos (mm)	Sin fuego	Con fuego
Promedio	2.265	1.172
Max	3.40	1.6
Min	1.75	0.85
Desviación Standard	0.47	0.49
CV%	17	28.7
Prueba t	***	***

3.6. Cuantificación del daño producido en la madera

El daño del fuego en la madera se analiza en función de dos parámetros: reducción del radio y dimensión de la herida tengencial. El fuego produce una disminución de las dimensiones del radio según la intensidad del mismo, con un consecuente decrecimiento del número de anillos. La Figura 6 representa la disminución de la longitud del radio en la zona dañada con relación a la sana, manifestando diferencias altamente significativa entre las dos muestras. El número de anillos perdidos y la reducción del radio presentan un coeficiente de correlación de 0.81, ajustando a una ecuación polinómica de segundo grado con $R^2 = 0,5191$.

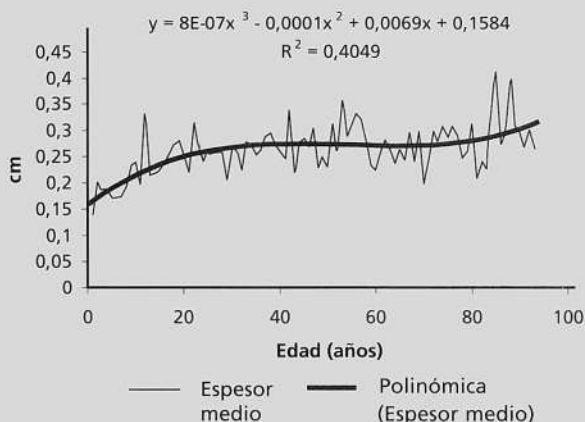


Figura 5. Evolución del espesor de anillos con la edad

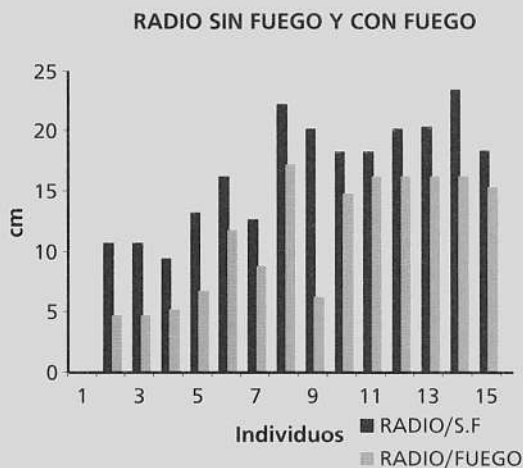


Figura 6. Relación radio con daño de fuego y sin daño

El segundo parámetro analizado como indicador del daño derivado de la acción del fuego es la herida tangencial producida en la zona cambial que ocasiona retardo del crecimiento. La relación entre el daño al perímetro expresado en % y la cantidad de anillos perdidos ajustada a una función polinómica de segundo grado (Figura 7). Ambos parámetros se conjugan dando como resultado la disminución de la masa leñosa en los años posteriores al fuego.

Indice de daño (ID): los datos permitieron elaborar el siguiente índice (fórmula 1)

$$ID = \% \text{ de reducción de radio} * \% \text{ de perímetro dañado} / 1000 \text{ (1)}$$

ecuación con $R^2 = 0.5987$ (Figura 10). Se manifiesta una disminución del espesor de los anillos de crecimiento al aumentar el índice de daño. Esto se traduce en un crecimiento reducido en la zona afectada con respecto al leño sin alteración.

3.8. Efecto del fuego en el crecimiento. Caso de estudio

El ejemplar N° 21 constituyó un interesante caso de estudio. La planta contaba, al momento del apeo con una edad de 70 años (Tabla 2). El fuego se produjo a los 17 años dañando el 80% del perímetro. Esto causó la pérdida de 53 anillos y una reducción del 70 % del radio. La herida continuaba abierta hasta el momento de

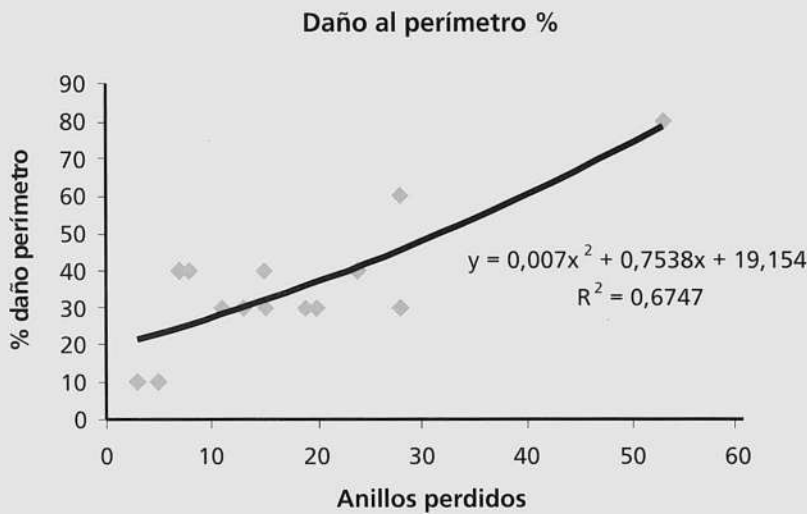


Figura 7. Relación entre el daño al perímetro expresado en % y la cantidad de anillos perdidos

El ID varía entre 0 y 10, de acuerdo la siguiente escala:

Indice de Daño	Escala
Bajo	0- 2.5
Medio	2.51- 5
Elevado	5.1- 7.5
Extremadamente alto	7.51- 10

La Figura 8 representa el ID de los individuos estudiados. Se observa que 10 de ellos presentan un bajo índice de daño por fuego, 3 valores de ID medio y un solo ejemplar con ID elevado. En la Figura 9 se indica la curva de regresión ajustada para las variables % de daño en perímetro y % de reducción del radio.

3.7. Relación entre el ID y el crecimiento

La relación existente entre el espesor medio de anillos en la zona dañada y el ID ajusta a una

corta. El volumen de fuste se redujo en 90% en la mitad dañada.

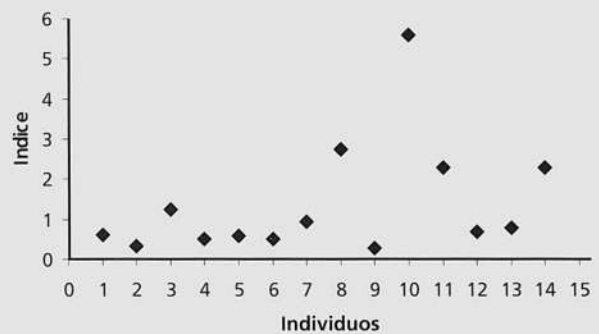


Figura 8. Índice de daño por fuego en individuos de *P. nigra*.

Tabla 2- Datos relevantes de la relación fuego- crecimiento en el ejemplar N°21

Edad del árbol	70
Longitud del Radio sin fuego	20
Longitud del Radio con fuego	6
Edad al fuego	17
Índice de daño	5.6
Espesor medio de anillo en zona sin fuego (mm)	2.86
Espesor medio de anillo en zona sin fuego (mm)	0.86
% daño en perímetro	80
% reducción de radio	70

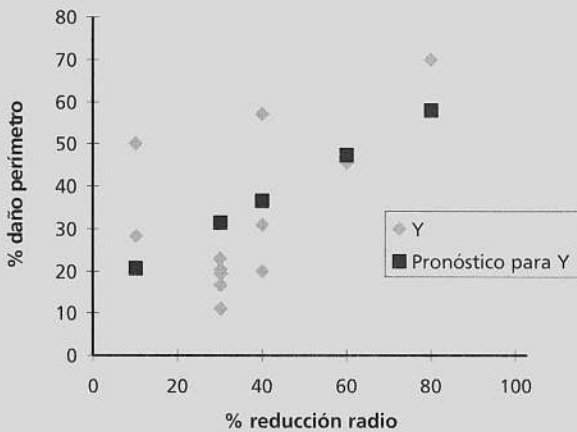


Figura 9. Curva de regresión ajustada para las variables % de daño en perímetro y % de reducción del radio.

En la Figura 11a se indica la evolución del radio con y sin fuego y (b) la evolución del incremento medio anual e incremento anual expresado en volumen de fuste para el árbol 21.

El IA e ICA del volumen de fuste manifiestan valores altos y variables de incremento corriente a partir de los 20 años (a los 17 se produce el daño por fuego). Esto puede interpretarse como un crecimiento compensatorio para cubrir la herida. En la Figura 12 se indica el volumen de fuste en la zona sana y en la opuesta, manifes-

tándose la pérdida de madera. El crecimiento se interrumpe por la pérdida del cambium vascular, que ocasiona la reducción del 90 % del volumen leñoso en la mitad del fuste.

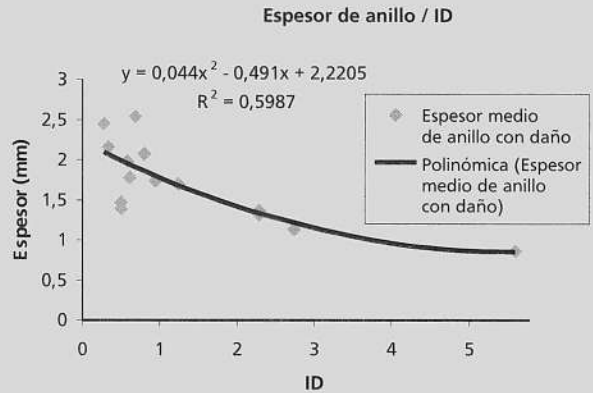


Figura 10. Espesores de anillos de crecimiento y el ID por fuego.

4. Reseña final

El fuego modifica la forma del fuste, según la magnitud de la herida, diferenciándose los siguientes tipos:

- Herida mayor al 60 % de la circunferencia da como resultado un fuste totalmente excéntrico. Esta madera queda excluida de ser utilizada como madera de obra que requiere comportamiento uniforme en sus propiedades de resistencia. El volumen del fuste se reduce de un 60-80 %.
- Herida que afecta en varios puntos en la circunferencia produce un fuste con costillas. Este rollo es desaprovechable para aserrado. Se producen pérdidas entre 30- 50% de volumen.
- Herida menor al 40 % del perímetro y en una sola área. Produce un fuste con una fenda

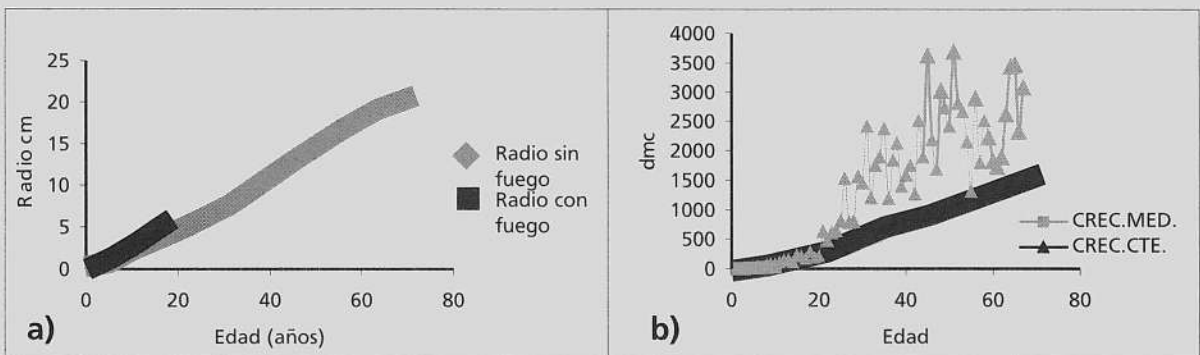


Figura 11 a) evolución del radio con y sin fuego y **b)** evolución del incremento medio anual e incremento anual expresado en volumen de fuste.

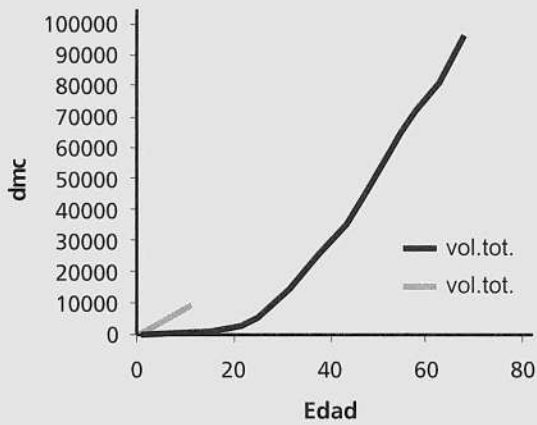


Figura 12. Evolución del volumen de fuste con y sin fuego

longitudinal de profundidad variable. Limita en un cuartón el uso de la troza. El volumen se reduce un 20%.

El algarrobo negro es una especie resistente a la acción del fuego debido a las barreras estructurales que presenta tanto en corteza como en madera.

El retraso en el crecimiento es función de la magnitud del daño y puede expresarse según un índice de daño (ID). Este último se define en función a la reducción del radio y del perímetro dañado. La forma del fuste es modificada en función al grado de daño producido en la zona cambial

La especie permite el fechado de incendios.

5. Bibliografía

- Aniol R. 1991. Computer Aided Tree Rings Analysis System, User manual. Schleswig, F.R.G, Germany, 31 p.
- Arno S. y K. Sneek. 1977. A method for determining fire story in coniferous forest in the mountain West. USDA. Forest Serv Gen Tech Rep Int : 42, 28 p. Forest and Range Exp Stn, Ogden, Utah.
- Dieterich J. y T. Swetman. 1984. Dendrochronology of a fire-scarred ponderosa pine. Forest Science Vol 30, N 1: 238-258.
- Giménez A. y G. Moglia. 1992. Determinación de patrones de crecimiento de especies leñosas de la región chaqueña. Jornadas de Ciencia y Técnica del NOA.
- Giménez A., G. Moglia; P. Hernández y S. Bravo. 2000. Leño y corteza de *Prosopis nigra* en relación a algunas magnitudes dendrométricas. Revista Forestal Venezolana Mérida.- Venezuela. Vol 44 (2): 29-37.
- Giménez A., N. Ríos, G. Moglia, P. Hernández y S. Bravo. 2001. Evolución de las magnitudes dendrométricas en función de la edad en *Prosopis alba*, algarrobo blanco, Mimosaceae. Revista Forestal Venezolana, Vol 45 (1): 175- 183.
- Giménez A. y N. Ríos. 1999. Crecimiento de *Schinopsis quebracho-colorado*, Anacardiaceae. Madera y Bosques- Xalapa. Méjico. 5 (2): 35-51
- Heiselman M. 1982. Fire intensity and fire frequency as factor of distribution of structure of northern ecosystems. En: Proceedings Fire and ecosystem Properties (Honolulu, Hawai. 1078-: 5- 57. USDA Forest Serv Gen Tech Rep Wo- 26, 594 p).
- Ríos N, A. Giménez y A. Torales. 1996. AE, un programa para el Análisis epidométrico de fuste. III Jornadas Forestales del Chaco, Formosa .
- Ríos N., A. Giménez y J. Moglia. 1999. Crecimiento del itín (*Prosopis kuntzei*, Harms.) en la región Chaqueña Argentina. Maderas y Bosques- Xalapa. Méjico ISSN 1405-0471. Vol 7 (1): 47-56.
- Stokes M. 1980. The dendrochronology of fire history. En Proccedings of the Fire history workshop. USDA Forest Serv Gen Tech Rep RM 81, 142 p Rocky Mt. Forest and Range Exp Stn, Fort Collins, Colo.

El fuego en la porción austral de la región del Monte

Guillermo Defossé^{1,2}, César Rostagno³, Héctor del Valle³ y Lic. María Dentoni^{2,4}



¹ Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP – CONICET).

² Facultad de Ingeniería, Universidad de la Patagonia Sede Esquel.

³ Centro Nacional Patagónico (CENPAT – CONICET).

⁴ Plan Nacional de Manejo del Fuego, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

1. Introducción

La Región Fitogeográfica del Monte (Soriaño, 1950), también llamada Formación del Monte (Lorentz, 1876, Holmberg, 1898), Monte Occidental (Parodi, 1945), o Provincia del Monte (Cabrera, 1976) se extiende por el oeste de Argentina desde el valle de Santa María en Salta, pasando por el centro de Catamarca y La Rioja, centro y este de San Juan y Mendoza, oeste de La Pampa, centro y este de Neuquén y Río Negro, hasta terminar en forma de cuña redondeada en el noreste del Chubut (Figura 1). Esta Región abarca casi 1/5 de la superficie continental de Argentina, formando amplios ecotonos en los que se confunden especies propias de esta Región con otras de las provincias fitogeográficas vecinas. Estos ecotonos limitan al este con la Provincia Chaqueña en el norte y con el Espinal en el sur, mientras que en su límite oeste lo hacen en la zona septentrional con la Provincia Prepuneña y en la meridional con la Provincia Patagónica. Pese a la hetero-

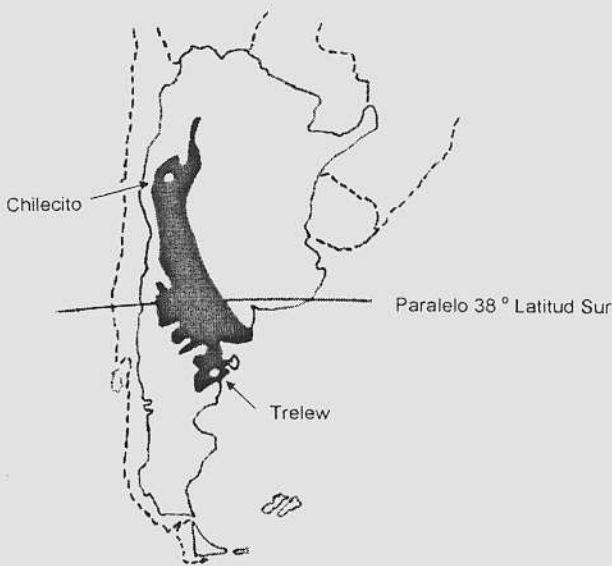


Figura 1. Ubicación de la Región Fitogeográfica del Monte en la República Argentina. (Pese a la relativa uniformidad en clima y vegetación en toda esta Región, existen diferencias en distribución de la precipitación que condicionan diferentes regímenes de fuego en los extremos norte y sur de la misma).

geneidad de sus suelos y diferencias en cuanto a características climáticas y de altura sobre el nivel del mar, la vegetación es muy uniforme en toda la Región, tanto en su fisonomía como en composición florística (Cabrera, 1976). Existen desde luego diferencias que producen facieses

zonales o locales, y que se acentúan más por disturbios ocasionados fundamentalmente por el pastoreo o los incendios. Aún así, siempre están presentes y en distinta combinación, algunas de las especies dominantes y que le dan entidad al Monte como Región Fitogeográfica. Desde el punto de vista fisonómico, puede considerarse al Monte como un arbustal-pastizal de dos o más estratos dominados por plantas xerófilas, entre las que se destacan las zigofiláceas del género *Larrea* (jarillas), junto con algunos *Prosopis* arbustivos, que se combinan todos en una gran matriz con otros arbustos y pastos de los géneros *Stipa*, *Poa*, *Bromus*, y *Hordeum*.

En relación al clima, si bien no existen diferencias notables en cuanto a temperaturas (aproximadamente entre 3 y 5 °C en temperaturas medias o extremas máximas y mínimas) entre la parte norte de la Región (Chilecito, La Rioja) y el extremo sur (Trelew, Chubut), ni tampoco en el total anual de la precipitación, existen sí diferencias marcadas en cuanto al régimen de distribución de esa precipitación. En el extremo norte, las lluvias se concentran fundamentalmente en verano, mientras que yendo hacia el sur, la lluvia se va distribuyendo más uniformemente en todas estaciones (Figura 2). Esto tiene una importancia fundamental desde el punto de vista del fuego, ya que esa distribución condiciona la temporada y el régimen de incendios que se producen en ambas zonas de esta misma Región fitogeográfica.

Por ese motivo, y porque nuestros estudios se centraron en la porción austral de la Región del Monte, los resultados e inferencias aquí presentados podrían extenderse en forma general desde el límite sur de esta Región hasta el suroeste de Río Negro, suroeste de La Pampa y este del Neuquén, y no más allá del paralelo 38° de Latitud Sur, donde el régimen de precipitaciones sigue el mismo patrón de distribución que en la estación Trelew (Figuras 1 y 2).

2. El fuego como disturbio en la porción Austral de la Región del Monte

El rol del fuego sobre la vegetación de arbustales y pastizales naturales ha sido estudiado en detalle en diversas partes del mundo. En general, estos estudios muestran que en los primeros estadios sucesionales después de un incendio, la reducción en la biomasa de arbustos y otras leñosas va asociada a un aumento relativo en la biomasa de pastos (Wright y Bailey, 1982, West *et al.*, 1984; Hodgkinson y Harrington, 1985; West y Hassan, 1985; Wambolt y Payne, 1986; Pfeiffer y Steuter, 1994). En la

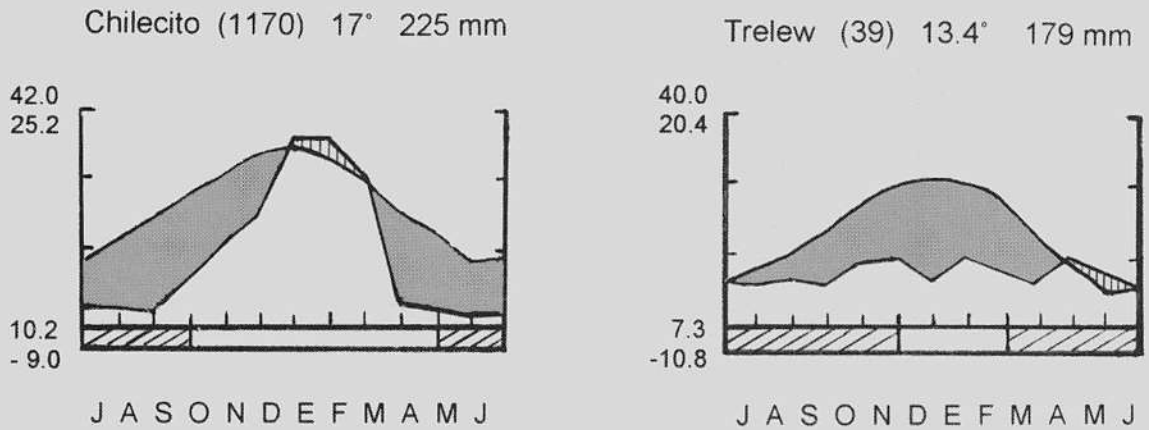


Figura 2. Climodiagramas en el formato de Walter y Lieth (1960) para las localidades de Chilecito (La Rioja) y Trelew (Chubut), ubicadas en los extremos norte y sur de la Región del Monte, respectivamente. Arriba, el nombre de la estación, la altura sobre el nivel del mar, temperaturas medias en °C precipitación media anual. La abscisa representa los meses del año comenzando en julio. Cada división de la ordenada representa 10 °C ó 20 mm de precipitación. El área gris debajo de la curva de temperaturas medias mensuales representa el período seco, mientras que las líneas verticales representan período con exceso de humedad. La línea quebrada representa el promedio de lluvias mensuales. Los números a la izquierda representan, de arriba hacia abajo, las temperaturas máxima absoluta, máxima media, mínima media y mínima absoluta registradas en cada estación. La barra inferior con líneas sesgadas indican período con heladas.

porción austral de la Región del Monte, y aunque existen indicios de que el fuego habría estado presente en ese ecosistema desde tiempos remotos (Claraz, 1988), sólo recientemente se han desarrollado trabajos científicos que han tenido como objetivo el conocer las causas y efectos de este disturbio sobre la dinámica de la vegetación (del Valle *et al.*, 1997; Defossé *et al.*, 1999; Dentoni y Cerne, 1999; Defossé *et al.*, 2000; Dentoni *et al.*, 2001; del Valle *et al.*, 2002).

A efectos de una mejor comprensión del rol de este disturbio en esta Región, creemos conveniente considerar al menos tres períodos, en los que el fuego jugó un papel netamente diferente en su relación con la dinámica de la vegetación. El primero podríamos ubicarlo desde fines del siglo XIX y hacia atrás, período para el cual no existen registros ni datos precisos. Como en cualquier otro arbustal-pastizal, no permanecen en el tiempo evidencias físicas que permitan datar eventos de fuego y hacer inferencias sobre sus efectos con cierto grado de certeza (D'Alia, 1998; Frost, 1998). La información más directa proviene de Claraz (1988) en su libro "Viaje de Exploración al Chubut 1865-1866", donde describe, en su paso por esta región, las diversas áreas que habían sido afectadas por incendios; indica además, que los indígenas nómades que la habitaban, quemaban estos pastizales frecuentemente con propósitos de caza, comunicación, u otros. En este período,

en condiciones cuasi pristinas, los incendios se producían por causas naturales (rayos) o provocados por los indígenas. La superficie que afectaban dependía de la cantidad de material combustible que cada evento de incendio encontraba a su paso, y su extinción estaba condicionada por las lluvias, o por alguna barrera natural que limitaba su propagación. El segundo período, de supresión total, podemos ubicarlo desde la colonización europea, con la introducción del ganado doméstico a principios del siglo XX, y hasta hace aproximadamente unos veinte años atrás. Durante ese período, se produjeron grandes cambios en el uso de estos pastizales. La ganadería, específicamente la cría de ovinos para la producción de lana y carne, se convirtió en la principal actividad que se realizó sobre la vegetación, desarrollándose en forma ininterrumpida por casi 80 años (Soriano, 1983; Soriano y Paruelo, 1990; Ares *et al.*, 1990). Se parcelaron y alambraron los campos, y el pastoreo, continuo y selectivo, produjo cambios diversos en la estructura y dinámica de la vegetación (Soriano, 1983; Ares *et al.*, 1990), dependiendo éstos en gran parte de la carga animal que cada propietario ejercía sobre su campo. El pastoreo a lo largo del tiempo causó una disminución en la biomasa de las gramíneas forrajeras más palatables y un aumento relativo de la biomasa de arbustos no palatables (Beeskow *et al.*, 1995, Bisigato y Bertiller, 1997). Siguiendo

una tendencia generalizada para esa época, en la que el fuego en pastizales y bosques estaba asociado a destrucción y desastre, la aparición de cualquier foco de incendio era inmediatamente apagado. La escasa cantidad de biomasa remanente de pastos (casi todo era consumido por los ovinos) eliminaba la continuidad horizontal de este combustible, haciendo más fácil el combate y el control de incendios cuando éstos eran provocados por rayos u otras causas (Figura 3). La presión del pastoreo continuo comenzó a disminuir en algunos casos a partir de mediados-fines de los '80, cuando el precio de la lana cayó por debajo del límite de la rentabilidad de las explotaciones agropecuarias y el deterioro del recurso pasturil por sobrepastoreo se tornó cada vez más evidente (Ares *et al.*, 1990). Esto obligó a algunos productores a abandonar paulatinamente la actividad ganadera, cobrando el mismo mayor relevancia en los alrededores de los grandes centros poblados (p. ej. Puerto Madryn, Defossé *et al.*, 1999).

Es aquí donde podemos establecer el comienzo del tercer período. En algunos lotes de estancias abandonadas, se comenzaron a percibir "parches" de vegetación que contrastaban marcadamente con otros de aquellas que siguieron con sus explotaciones tradicionales. En estos "parches", fácilmente identificables a través de imágenes satelitales (Beeskow *et al.*, 1987, del Valle *et al.*, 1997), la eliminación del pastoreo comenzó a producir un constante aumento en la biomasa relativa de pastos y en menor medida de arbustos. Por otra parte, es importante mencionar que la mayoría de las especies que componen la vegetación del área muestran una estrategia de crecimiento árido-pasiva (Fisher y Turner, 1978), lo que significa que tanto el crecimiento como su desarrollo fenológico son interrumpido durante la sequía estival, momento en el cual la parte aérea de las plantas se seca completamente. La excepción a esta estrategia está dada por *Larrea divaricata* (jarilla) y *Chuquiraga avellanedae* (quilembay), quienes muestran actividad y finalizan su desarrollo fenológico durante el período seco (Bertiller *et al.*, 1991). Estas estrategias, sumado a las características climáticas de la región (altas temperaturas, bajas humedades relativas y fuertes vientos durante el verano), hacen no sólo que el material vegetal se seque completamente, sino también que su tasa de descomposición para transformarse en mantillo y su incorporación luego al suelo como humus sea extremadamente

lenta. Esta biomasa (que era consumida anteriormente por los ovinos) comenzó a quedar entonces como material fino "muerto en pié", y se transformó en un combustible altamente inflamable, dándole continuidad horizontal a la vegetación y facilitando el desplazamiento del fuego en caso de incendio. La conjunción de estos factores tendieron a aumentar el peligro de que ante la menor fuente de ignición (ya sean rayos o provocados por el hombre) se pudieran desatar incendios de grandes proporciones y difíciles de controlar. Desde entonces y hasta el presente, la frecuencia en la ocurrencia de focos de fuego que luego se transformaron en grandes incendios ha aumentado notoriamente, habiendo provocado en un caso de incendio de comportamiento extremo, la pérdida de 25 bomberos cuando trataban de apagarlo (Dentoni *et al.*, 2001). Hay otras situaciones, en las cuales el deterioro por uso pasturil fue tan grande, que prácticamente desaparecieron los pastos. Al cesar el pastoreo, se incrementó dramáticamente la biomasa de arbustos no palatables (ej. *Chuquiraga avellanedae*) cuyas hojas y ramas poseen sustancias químicas que constituyen un material combustible altamente inflamable. En este caso, el incremento en densidad y cercanía entre las matas causa que cuando se dan condiciones atmosféricas favorables, cualquier pequeño foco de incendio pueda rápidamente transformarse en un gran incendio.

En estos casos de sobrepastoreo extremo, y desde el punto de vista estrictamente pasturil, la



Figura 3. Principio de incendio originado por un rayo en un área pastoreada en la región del Monte en las cercanías de Puerto Madryn. La casi nula disponibilidad de material fino en superficie (pastos muertos en pié y mantillo) y la baja densidad de arbustos altamente inflamables (caso *Chuquiraga avellanedae*) impidió que este foco de incendio tomara dimensiones mayores. (Tomado de Dentoni y Cerne, 1999. Fotografía J. Artucio).

sola exclusión del ganado pareciera ser insuficiente como para restablecer en el tiempo la biomasa de pastos. En este punto existen coincidencias entre diversos autores (Passera *et al.*, 1992, Beeskow *et al.*, 1995, Bisigato y Bertiller, 1997; Bertiller y Bisigato, 1998), que indican que una drástica manipulación del sistema sería necesaria (siembras, adición de nutrientes y eliminación de arbustos mediante métodos mecánicos) para volver a restaurar la dominancia de pastos.

En este tercer período, entonces, se están produciendo incendios de gran magnitud causados por excesiva acumulación de biomasa fina muerta en pie, o por arbustos altamente inflamables que aumentaron su biomasa relativa en ausencia de pastos. Ambas situaciones obligan a replantearnos las estrategias no sólo de prevención y control de estos incendios para brindar seguridad a las personas y bienes, sino también en la planificación del manejo de estos pastizales con objetivos productivos. Dentro de estas estrategias, y aparte de las mencionadas en el párrafo anterior, el uso de las quemaduras prescritas en el momento oportuno y como herramienta de manejo deberían también ser consideradas seriamente.

3. Dinámica post-fuego en la vegetación del Monte: estudio de caso

Hasta hace relativamente poco tiempo atrás, los trabajos de investigación en el área austral del Monte se habían centrado en aspectos fisiográficos (Beeskow *et al.*, 1987), ecológicos (Bertiller *et al.*, 1991, Bisigato y Bertiller, 1997), edáficos (Rostagno y del Valle, 1988, Rostagno 1989, Rostagno *et al.*, 1991), o sobre los cambios y tendencias asociadas con la intensidad de pastoreo (Beeskow *et al.*, 1995, Bertiller y Bisigato, 1998). Los eventos de incendio ocurridos en el aquí llamado "tercer período", concitaron la atención de varios investigadores y motivaron el desarrollo de trabajos cuyo objetivo fue el conocer los aspectos ambientales y bióticos asociados a algunos incendios, y cómo éstos influían en la recuperación de la vegetación (del Valle *et al.* 1997, Defossé *et al.* 1999, Dentoni y Cerne 1999, Defossé *et al.* 2000, Dentoni *et al.* 2001, del Valle *et al.* 2002).

En este capítulo, se dan a conocer los resultados de un estudio de caso que permitió dilucidar algunos aspectos sobre la dinámica de la vegetación en dos áreas que habían sido quemadas en los años 1988 y 1994, respectivamente,

haciendo un análisis intensivo de cada una de ellas a nivel predial (Defossé *et al.*, 1999). Estas dos áreas, cercanas a Puerto Madryn, fueron elegidas con la ayuda de imágenes satelitales LANDSAT TM y comprobación a campo, ya que presentaban algunas características contrastantes que las hacía interesantes para estudiarlas más detalladamente durante dos estaciones de crecimiento.

3.1 Descripción de las áreas quemadas

En cada área quemada, se determinó la estructura y dinámica de la comunidad (cobertura, densidad, y productividad) y se la comparó con el área adyacente no quemada. Estas áreas fueron quemadas accidentalmente una a mediados de noviembre de 1988 (de ahora en más *Sitio 1*) y la otra el 21 de enero de 1994 (de ahora en más *Sitio 2*). El *Sitio 1* está ubicado a aproximadamente 30 Km al sudeste de Puerto Madryn (Ea. Alsúa) y el *Sitio 2* a 10 Km al oeste (Ea. Gallastegui) de la misma localidad (Figura 4). La precipitación media anual es de 190 mm y 170 mm para los *Sitios 1* y *2* respectivamente, mientras que la temperatura media anual para ambos sitios es de 13,5 oC. Los dos sitios se encuentran a aproximadamente 100 m.s.n.m en un pedimento de flanco con pendiente general SONE. Los suelos corresponden a un Calciorthid

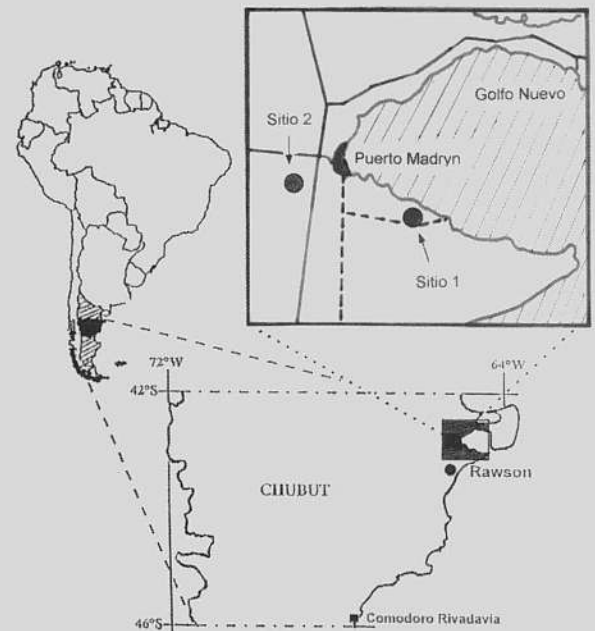


Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo en la zona austral de la región del Monte en las cercanías de Puerto Madryn. Tomado de Defossé *et al.*, (1999).

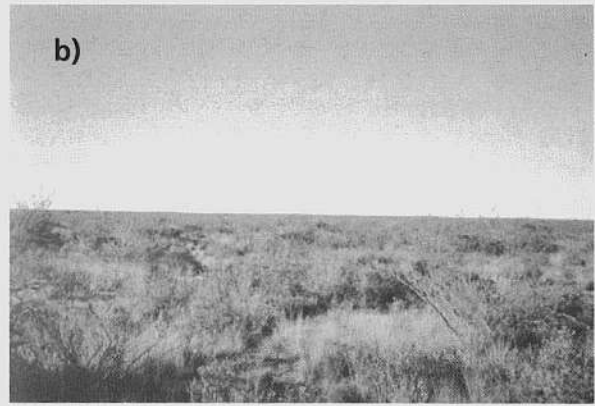
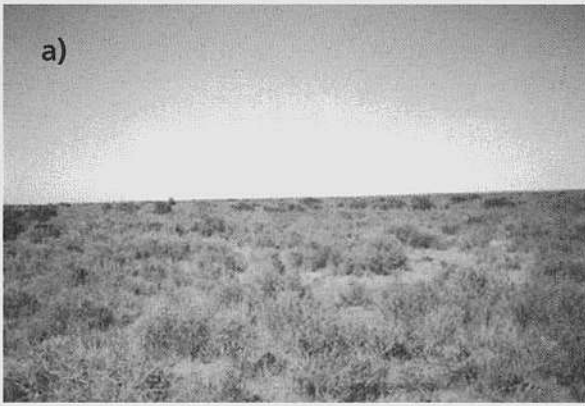


Figura 5 a y b. Aspecto fisonómico de los sitios de muestreo intensivo. El Sitio 1 (a) presenta 2 estratos, uno de arbustos y otro de pastos. El Sitio 2 (b), en cambio presenta tres estratos, arbustos altos (Jarillas), medianos (*Chuquiraga avellanedae*) y pastos de los géneros *Stipa*, *Poa*, *Bromus*, y *Hordeum*.

xerófico con una profundidad media de 50 cm, tomando como límite inferior el manto de gravas (Rodados Patagónicos). La vegetación en ambos sitios corresponde a una estepa arbustiva-herbácea. El *Sitio 1*, presenta dos estratos: las especies dominantes en el estrato arbustivo son *Chuquiraga avellanedae* y *Nardophyllum quillatrichoides* y la especie dominante en el estrato herbáceo es *Stipa tenuis* (Figura 5 a). La vegetación en el *Sitio 2* presenta en cambio tres estratos bien diferenciados. El estrato arbustivo superior (de 1,5 a 2,5 m de altura) está compuesto de *Larrea divaricata*, *Condalia microphylla*, *Schinus molle*, *Chuquiraga histrix* y *Lycium chilense*. El estrato arbustivo intermedio (de 0,5 a 1,5 m de altura) está dominado fundamentalmente por *Chuquiraga avellanedae*, mientras que en el estrato herbáceo predominan los pastos *Stipa tenuis*, *S. speciosa* y *Poa ligularis* (Bert Iler *et al.*, 1991, Figura 5 b).

En cuanto al uso pasado, ambos sitios han tenido una historia similar (sometidos al pastoreo continuo por los ovinos desde principios del siglo XX y hasta hace unos 20 años). Desde entonces el *Sitio 2* fue clausurado al pastoreo, mientras que el *Sitio 1* dejó de ser pastoreado sólo por un año después del incendio y luego continuó siendo pastoreado. También las condiciones en que se desarrolló cada evento de incendio fueron diferentes. Como consecuencia, la respuesta de la vegetación ha sido diferente

en ambas situaciones y por lo tanto sus resultados no son comparables entre sí.

3.2 Determinación de la dinámica de la vegetación post-fuego

En cada sitio, la biomasa aérea de las especies herbáceas (latifoliadas y pastos) fue determinada al final de la estación de crecimiento (diciembre) durante los años 1998 y 1999 (diez y cinco años después de los eventos de fuego ocurridos en cada sitio, respectivamente), mediante cortes con tijeras de mano en parcelas ($n=10$) de 1 m² (0,5 m x 2 m) ubicadas al azar dentro del área quemada y en la adyacente sin quemar (control). La biomasa fue separada por grupos funcionales (pastos, hierbas no gramíneas y mantillo), secada durante 48 hs a 60 °C y luego pesada. La cobertura y densidad de las especies arbustivas fueron determinadas sobre transectas de 50 m en parcelas de 100 m² (10x10), respectivamente. En cuanto a las condiciones particulares en que se desarrolló cada evento de fuego, el ocurrido en el *Sitio 1* podemos clasificarlo como de mediana severidad¹, habiendo afectado una superficie total de 970 has. El ocurrido en el *Sitio 2*, en cambio, fue de muy alta severidad y tuvo características de incendio de comportamiento extremo (ver el capítulo de *Introducción a la ecología del fuego de este mismo volumen*), habiendo afectado, en los dos días de duración, 12.720 hectáreas.

¹ Definimos aquí como *grado de severidad* o *severidad* de cada incendio, a los efectos combinados de la intensidad y tiempo de residencia del fuego en un determinado lugar. La *severidad* se puede apreciar por la apariencia de la vegetación remanente luego de producido el evento de fuego. *Baja severidad* es cuando la vegetación se ha consumido parcialmente, dejando restos de mantillo, algunas hojas y ramas sin quemar. *Mediana severidad* es cuando desaparece el mantillo pero quedan restos de biomasa aérea sin quemar. *Alta severidad* es cuando sólo quedan visibles algunas ramas de arbustos de más de 2.5 cm sin quemar. *Muy alta severidad* es cuando no queda prácticamente material vegetal visible en superficie, quedando el suelo superficial reducido a un manto de cenizas.

3.3 Resultados

3.3.1 Biomasa aérea y mantillo de herbáceas y pastos

En el muestreo realizado en diciembre de 1998, tanto la biomasa total de especies herbáceas como la de pastos del *Sitio 1* fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) en el área quemada que en el área control sin quemar (Tabla I a), mientras que en el *Sitio 2* solamente la biomasa aérea de pastos fue significativamente ($P \leq 0.05$) mayor en el área quemada respecto al control sin quemar. En ambos sitios la biomasa de los pastos fue mayor que la biomasa de las especies herbáceas latifoliadas. En el *Sitio 1* la biomasa de pastos representó el 97.5% y el 94.6% de la biomasa total de herbáceas del área quemada y del control, respectivamente, mientras que en el *Sitio 2* la biomasa de pastos representó el 86.0% y el 79.0% de la biomasa total de herbáceas para los mismos tratamientos. En ambos sitios la mayor biomasa de especies herbáceas latifoliadas se registró en las áreas no quemadas.

En el muestreo siguiente (diciembre de 1999), la biomasa de pastos fue significativamente mayor ($P \leq 0.01$) en el área quemada de ambos sitios que en el control sin quemar.

En este caso, la biomasa de herbáceas latifoliadas fue insignificante en relación a la de los pastos (Tabla I b).

En el primer muestreo (diciembre de 1998) la cantidad de mantillo en el *Sitio 1* fue similar en el área quemada que en la sin quemar, mientras

que en el *Sitio 2* fue significativamente ($P \leq 0.05$) mayor en el área sin quemar que en el área quemada. Contrastando con esto, en diciembre de 1999 el mantillo fue significativamente mayor en el área quemada del *Sitio 1* mientras que no difirió significativamente entre el quemado y control en el *Sitio 2*.

3.3.2 Cobertura y densidad de arbustos

En ambos sitios y en los muestreos realizados tanto en diciembre de 1998 como en el mismo mes de 1999, la cobertura de arbustos fue significativamente mayor en las áreas sin quemar (control) que en las quemadas, con la sola excepción de *Schinus polygamus* (Tablas II a y II b). Dentro de los arbustos y en ambos muestreos, la mayor cobertura correspondió a *Chuquiraga avellanadae*, seguida por *Nardophyllum quilatri-chioides* y *Prosopidastrum globosum* en el *Sitio 1*, y por *Larrea divaricata*, *Chuquiraga avellanadae* y *P. globosum* en el *Sitio 2* (Tablas II a y II b).

La especie con mayor cobertura (*Chuquiraga avellanadae*) fue significativamente ($P \leq 0.05$) mayor en las áreas que no fueron afectadas por el fuego (control), siendo en el *Sitio 2* de mayor magnitud para ambos años (24,8 % vs 0,6% en diciembre de 1998 y 22,3% vs 0,2% en diciembre de 1999, respectivamente).

Al igual que la cobertura, la densidad de arbustos fue en general significativamente mayor en el área testigo (control, sin quemar) que en el área quemada, para ambos sitios y fechas de

Tabla I a. Promedio (y desviación standard) de la biomasa total de herbáceas, de pastos y mantillo en el área quemada en noviembre de 1988 (*Sitio 1*) y en enero de 1994 (*Sitio 2*), en el NE de Chubut. Muestreo diciembre de 1998.

	Sitio 1		Sitio 2	
	Quemado	Control	Quemado	Control
Biomasa total herb. (g m ²)	94,0 (22,0)	57,0 (30,4)	173,0 (71,2)	120,8 (55,2)
Biomasa Pastos (g m ²)	91,7 (22,5)	53,8 (29,3)	149,3 (61,0)	94,7 (46,5)
Mantillo (g m ²)	26,4 (12,3)	23,7 (18,1)	17,1 (15,4)	48,0 (41,5)

Tabla I b. Promedio (y desviación standard) de la biomasa total de herbáceas, de pastos y mantillo en el área quemada en noviembre de 1988 (*Sitio 1*) y en enero de 1994 (*Sitio 2*), en el NE de Chubut. Muestreo diciembre de 1999.

	Sitio 1		Sitio 2	
	Quemado	Control	Quemado	Control
Biomasa total herb. (g m ²)	106,1 (18,1)	58,8 (9,9)	122,6 (34,8)	50,8 (47,5)
Biomasa Pastos (g m ²)	105,3 (18,2)	58,2 (9,9)	121,2 (34,9)	50,3 (47,9)
Mantillo (g m ²)	42,1 (7,4)	10,2 (3,8)	34,9 (17,0)	31,3 (21,4)

muestreo. La excepción fue *Schinus polygamus* en ambos sitios, y *Chuquiraga avellanadae* en el *Sitio 1*, en los cuales la densidad fue mayor en las áreas quemadas que en las sin quemar (Tabla III a y III b). Es importante destacar nuevamente que la dinámica de la vegetación post-

fuego en ambos sitios no es comparable, ya que además de haber ocurrido el evento de fuego diez años antes de los muestreos en el *Sitio 1* y cinco en el *Sitio 2*, el *Sitio 1* fue sometido a pastoreo continuo desde entonces mientras que el *Sitio 2* ha estado sin pastoreo.

Tabla II a. Cobertura promedio (Desvío Standard) de las especies arbustivas más importantes en las áreas quemadas en noviembre de 1988 (*Sitio 1*) y en enero de 1994 (*Sitio 2*), en el NE de Chubut. Muestreo de diciembre de 1998.

	Sitio 1		Sitio 2	
	Q	C	Q	C
	%			
<i>Ch. avellanadae</i>	3.9 (1.2)	7.9 (3.6)	0.6 (1.0)	24.8 (6.8)
<i>N. chilotrichoides</i>	0.2 (0.4)	6.9 (4.1)	0.0 (-)	0.0 (-)
<i>L. divaricata</i>	0.0 (-)	0.0 (-)	2.2 (2.0)	6.9 (2.7)
<i>P. globosum</i>	2.2 (2.1)	3.9 (2.5)	2.5 (2.2)	3.2 (2.9)
<i>Ch. istrix</i>	0.2 (0.3)	2.7 (1.6)	0.3 (0.5)	0.8 (1.2)
<i>S. polygamus</i>	2.4 (0.9)	0.5 (0.6)	1.3 (1.6)	0.5 (0.9)
<i>Junelia alatocarpa</i>	<0.1 (-)	0.1 (0.1)	<0.1 (-)	1.6 (1.3)
<i>Lycium chilense</i>	0.1 (0.3)	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	0.5 (0.4)
Cobertura total:	9.1	22.1	7.1	38.3

Q= área quemada; C= control sin quemar

Tabla II b. Cobertura promedio (Desvío Standard) de las especies arbustivas más importantes en las áreas quemadas en noviembre de 1988 (*Sitio 1*) y en enero de 1994 (*Sitio 2*), en el NE de Chubut. Muestreo de diciembre de 1999.

	Sitio 1		Sitio 2	
	Q	C	Q	C
	%			
<i>Ch. avellanadae</i>	3.6 (1.3)	6.8 (3.5)	0.2 (0.4)	22.3 (4.2)
<i>N. chilotrichoides</i>	0.2 (0.3)	5.2 (3.6)	0.0 (-)	0.0 (-)
<i>L. divaricata</i>	0.0 (-)	0.0 (-)	1.1 (0.9)	5.7 (1.8)
<i>P. globosum</i>	2.1 (2.5)	2.8 (1.4)	1.6 (1.4)	4.3 (2.9)
<i>Ch. istrix</i>	0.3 (0.4)	3.2 (1.7)	0.4 (0.6)	1.1 (1.3)
<i>S. polygamus</i>	2.7 (0.9)	0.4 (0.5)	1.9 (1.7)	0.2 (0.4)
<i>Junelia alatocarpa</i>	0.0 (-)	0.1 (0.1)	0.1 (0.2)	1.8 (1.5)
<i>Lycium chilense</i>	0.4 (0.9)	0.2 (0.2)	0.1 (0.2)	0.6 (0.5)
Cobertura total:	9.1	18.7	5.4	36.0

Tabla III a. Densidad (individuos ha⁻¹) de las especies arbustivas más importantes en las áreas quemadas en noviembre de 1988 (Sitio 1) y en enero de 1994 (Sitio 2), en el NE de Chubut. Muestreo diciembre de 1998.

	Sitio 1		Sitio 2	
	Q	C	Q	C
	Individuos ha ⁻¹			
<i>Ch. avellanedade</i>	1350	1260	330	2740
<i>N. chilotrichoides</i>	200	1100	0	0
<i>L. divaricata</i>	0	0	570	1400
<i>P. globosum</i>	330	580	200	380
<i>Ch. histrix</i>	160	1180	110	470
<i>S. polygamus</i>	300	200	240	30
<i>Junelia alatocarpa</i>	20	250	200	250
<i>Lycium chilense</i>	170	400	270	740
Total (individuos/ha)	2530	4970	1920	6010

Q= área quemada; C= control sin quemar

3.4. Discusión

3.4.1 Dinámica de la vegetación post-incendio

En el área quemada en 1988 y luego pastoreada (Sitio 1) es difícil hacer evaluaciones de la dinámica de la vegetación post-fuego sin considerar los efectos del pastoreo, ya que indudablemente esta dinámica ha sido y está influenciada por la intensidad y duración del mismo. A diferencia del fuego, que consume toda la biomasa aérea, el pastoreo lo hace selectivamente, lo cual con el tiempo puede cambiar la estructura del pastizal, favoreciendo la persistencia y el incremento de especies menos preferidas por el ganado y reduciendo la biomasa de aquellas más preferidas (Wright

y Bailey, 1982; Hodgkinson y Harrington, 1985). Esto es palpable en ese sitio, particularmente en el caso de los arbustos poco apetecibles por el ganado (caso *Chuquiraga avellanedae*). A pesar de ello, y luego de diez años de ocurrido el evento de fuego, todavía la densidad y cobertura de arbustos por hectárea en el área quemada es aproximadamente la mitad que en el control sin quemar, mientras que la biomasa de pastos casi duplica a la registrada en el control sin quemar. Debemos asimismo considerar que el evento de fuego en este sitio fue de mediana severidad, lo que pudo haber favorecido el rebrote de aquellas especies más resistentes, mejor adaptadas, o cuyos meristemas de crecimiento fueron menos afectados por el fuego.

Tabla III b. Densidad (individuos ha⁻¹) de las especies arbustivas más importantes en las áreas quemadas en noviembre de 1988 (Sitio 1) y en enero de 1994 (Sitio 2), en el NE de Chubut. Muestreo diciembre de 1999.

	Sitio 1		Sitio 2	
	Q	C	Q	C
	Individuos ha ⁻¹			
<i>Ch. avellanedade</i>	1320	1300	180	2960
<i>N. chilotrichoides</i>	300	1040	0	0
<i>L. divaricata</i>	0	0	480	1670
<i>P. globosum</i>	220	420	420	120
<i>Ch. histrix</i>	200	1300	140	650
<i>S. polygamus</i>	340	120	40	40
<i>Junelia alatocarpa</i>	20	280	180	300
<i>Lycium chilense</i>	160	400	300	680
Total (individuos . ha⁻¹)	2560	4860	1740	6420

Q= área quemada; C= control sin quemar

En el *Sitio 2*, en cambio, es bastante más sencillo predecir la secuencia sucesional, ya que en 20 años de no pastoreo, el único disturbio importante fue el evento del incendio en sí. Este incendio fue de muy alta severidad, habiendo consumido toda la biomasa vegetal aérea y quedado solamente un manto de cenizas en superficie de espesor variable. A pesar de esa severidad y de la gran superficie afectada por el incendio (12720 ha), la recuperación de la vegetación fue notable dentro de toda el área. Después de cinco años de ocurrido el fuego, la biomasa de pastos fue casi 2,5 veces mayor en el área quemada que en el control. En relación a los arbustos, su densidad total fue tres veces menor en el área quemada que en el control, mientras que la cobertura total fue entre seis y siete veces menor en el área quemada que en el control. Asimismo, la cobertura de las especies arbustivas indeseables desde el punto de vista forrajero (caso *Chuquiraga avellanadae*) se mantuvo muy por debajo del control (0.2% comparado con 24,3%).

De acuerdo a las observaciones empíricas realizadas en las primeras temporadas posteriores al evento de fuego, las mediciones realizadas en este trabajo en ambos años (1998 y 1999), y la información disponible sobre la estructura de la vegetación y aspectos climáticos del área

de estudios, es posible concluir que en la porción austral de la Región Fitogeográfica del Monte, el fuego es un disturbio que ha estado desde siempre presente y con frecuencia variable, jugando un rol muy importante como regulador de la dinámica de la vegetación.

Sobre la base de esta información, es posible entonces construir un modelo de secuencia sucesional que estos pastizales tendrían después de un evento de incendio. Esta sucesión post-fuego (y en ausencia de pastoreo) seguiría la trayectoria que muestra la figura 6, pudiendo ser asimilada a una "sucesión de tipo cíclica" como la presentada por Yeaton (1978) para el desierto de Chihuahua, que posee características fisonómicas similares a nuestra Región del Monte.

4. Consideraciones finales

Con respecto a la dinámica post fuego, podemos decir que casi todas las especies que se encuentran dentro del área de estudios (en este caso en ambos sitios) han desarrollado estrategias de supervivencia y adaptación que, aun-

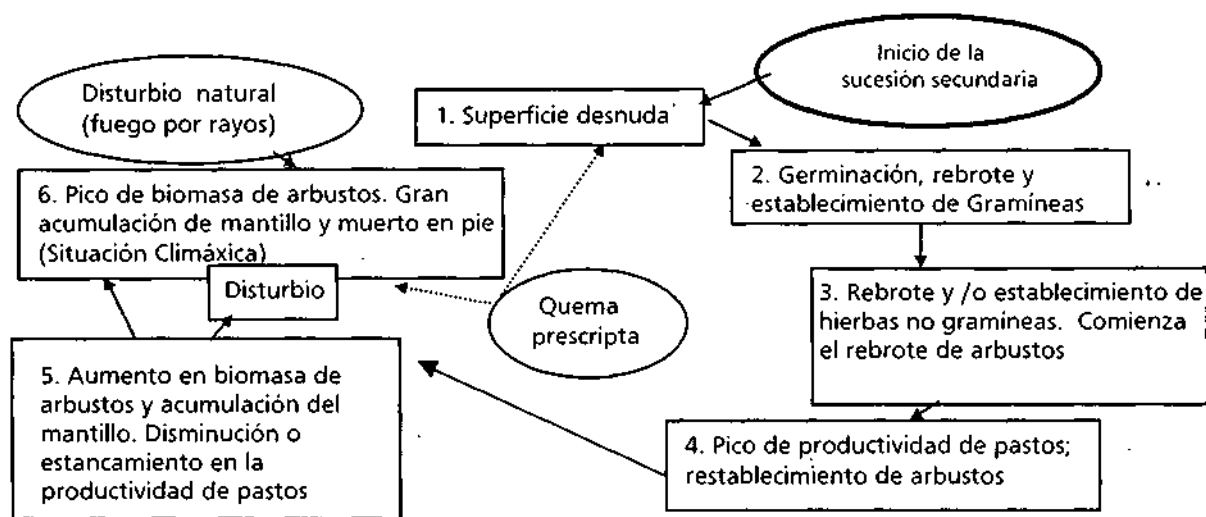


Figura 6. Modelo simplificado de la dinámica de un parche de vegetación en la Región del Monte en las cercanías de Puerto Madryn, afectado por incendios periódicos. Cada rectángulo representa una etapa (*serie*) en esta sucesión en condiciones prístinas sin pastoreo. Las líneas punteadas representan la secuencia en caso de utilizarse el fuego como herramienta en una quema prescrita. Esta quema debería hacerse entre las etapas 5 y 6, cuando la productividad de los pastos comience a declinar y haya suficiente material combustible fino (mantillo y muerto en pie) como para conducir el fuego y que la quema sea efectiva.

que en densidades y proporciones variables, las hace persistir en el sistema independientemente del tiempo transcurrido desde el evento del fuego, o de la severidad del mismo. Esta regeneración puede hacerse de cepa o por macollos en el caso de arbustos o gramíneas (cuando el fuego no ha sido muy severo), o a través de semillas que podrían haber permanecido en el suelo para aquellas que poseen esa estrategia de adaptación, o ser transportadas por el viento u otros agentes desde las áreas adyacentes no quemadas (incendio muy severo). Si bien este es un punto que merece mayor atención y debería ser objeto de investigaciones más profundas, es importante señalar que hasta ahora no hemos encontrado evidencias de que alguna especie desaparezca del sistema a causa de este disturbio.

En la Región del Monte en las cercanías de Puerto Madryn donde se realizó este trabajo, las evidencias (corroboradas por los datos de campo) muestran que después de un incendio y de manera general, hay una recuperación de las especies de pastos más palatables, y una disminución en la densidad y cobertura de arbustos. Hay por supuesto casos especiales como el *Sitio 1*, que fue pastoreado un año después del incendio, en que la disminución en densidad y cobertura de arbustos no palatables (o indeseables desde el punto de vista forrajero como la *Chuquiraga avellanadae*) no fue tan drástica como en el Sitio no pastoreado.

Estos resultados permiten también inferir que el fuego ha sido un disturbio que ha estado presente desde siempre en ese sistema, y que la frecuencia en su ocurrencia y transformación en incendios de gran magnitud depende de varios factores, entre los que se destacan la carga y continuidad del material combustible (biomasa vegetal) y las condiciones meteorológicas previas y durante el evento de fuego.

La información aquí presentada podría entonces servir de base para la implementación de sistemas de manejo en la región que utilicen las quemadas prescritas como herramienta para mejorar la capacidad receptiva de los campos. En otras palabras, "*una quema prescrita bien planeada puede ser un método de manejo muy económico, que permite no solo reducir el riesgo futuro de incendio, sino también aumentar la productividad y calidad de los pastizales*" (Hodgkinson y Harrington 1985). En nuestra región, esto podría traducirse en mayor cantidad de Kg. de carne y lana por ha, mejorando de esa manera los ingresos de los productores. Por otra parte, y en el caso de aquellos lugares cercanos a los centros poblados y en los cuales por diversas razones no van a volver a pastorearse, también una reducción en la carga de combustible a través de quemadas prescritas se hace estrictamente necesaria, ya que esto permitirá reducir los riesgos de incendios de comportamiento extremo como los ocurridos en el pasado, y que pueden afectar a bienes y personas.

5. Bibliografía

- Ares J., A. Beeskow, M. Bertiller, C. Rostagno, M. Irisarri, J. Anchorena, G. Defossé y C. Merino. 1990. Structural and Dynamic Characteristics of overgrazed grasslands of northern Patagonia, Argentina. Pp. 149-175 en: A. Breymeyer, ed. *Managed Grasslands, Regional Studies*. Elsevier, Amsterdam.
- Beeskow A., H. del Valle y C. Rostagno. 1987. Los sistemas fisiográficos de la Región árida y semiárida de la Provincia del Chubut. SECYT Regional Patagonia. San Carlos de Bariloche, Río Negro. 123 pp.
- Beeskow A., N. Elissalde, y C. Rostagno. 1995. Ecosystem changes associated with grazing intensity on the Punta Ninfa rangelands of Patagonia, Argentina. *J. Range Manage.* 48:517-522.
- Bertiller M., A. Beeskow, y F. Coronato. 1991. Seasonal environmental variation and plant phenology in arid Patagonia (Argentina). *J. Arid Environ.* 21: 1-11.
- Bertiller M. y A. Bisigato. 1998. Vegetation dynamics under grazing disturbance. The state and transition model for the Patagonian steppes. *Ecología Austral* 8, 191-199.
- Bisigato A. y M. Bertiller. 1997. Grazing effects on patchy dryland vegetation in northern Patagonia. *J. Arid. Envi.* 36:639-653.
- Cabrera, A. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Encic. Arg. Agric. Jard. Tomo II, Editorial ACME, Buenos Aires. 85 pp.
- Claraz J. 1988. Viaje de Exploración al Chubut 1865-1866. Marymar, Bs. As.
- D'Alia, J. 1998. Using Geographic information systems to examine fire ignition patterns and fire danger in arid and semiarid-western United States. Thesis University of Idaho, Moscow, Idaho 242 pp.

- Defossé G., C. Rostagno H. del Valle y M. Bertiller. 1999. Respuesta de la vegetación al fuego en el Noreste del Chubut. Informe Final PIA - CONICET Nro: 6387/97. Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn, 26 pp.
- Defossé G., C. Rostagno y H. del Valle. 2000. Postfire Vegetation Responses in the Monte Region of Northeastern Patagonia, Argentina. Pag. 25 en: Abstracts, 53rd Annual Meeting Soc. Range Manage. Boise, Idaho, 13 al 18 de Febrero.
- del Valle H., C. Rostagno y G. Defossé. 2002. Monitoreo satelital de la degradación del suelo superficial y los procesos de regeneración de la vegetación en áreas incendiadas del noreste del Chubut. Pag. 83 en: XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, 16 al 19 de abril.
- del Valle H., D. Gagliardini, J. Milovich, G. Defossé y M. Dentoni. 1997. Applications of ERS-1/ SAR images for monitoring land cover changes in a burnt area of rangelands (Central Patagonia, Argentina). En: International Seminar on the use and applications of ERS in Latin America, ESA, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Viña del Mar, Chile, ESA SP 409:195-200.
- Dentoni M. y B. Cerne. 1999. La Atmósfera y Los Incendios. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo sustentable. Gráfica San Lorenzo, Buenos Aires.
- Dentoni M., G. Defossé, J. Labraga, y H. del Valle. 2001. Atmospheric and fuel conditions related to the Puerto Madryn fire of 21 January, 1994. J. Meteorol. Appl. 8:361-370.
- Fischer R. y N. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. Ann. Rev. Plant Physiol. 29:277-317.
- Frost C. 1998. Presettlement fire frequency regimes of the United States: a first approximation. p p. 70-81 en: T. Pruden y L. Brennan, eds. Fire in Ecosystem Management. Shifting the paradigm from suppression to prescription. Tall Timbers Fire Ecology Conference Proceedings Nro. 20. Tallahassee, Fl. Tall Timbers Research Station.
- Hodgkinson K. y G. Harrington. 1985. The Case for Prescribed Burning to Control Shrubs in Eastern Semi-arid Woodlands. The Australian Rangeland Journal 7:64-74.
- Holmberg E. 1898. La Flora de la República Argentina. Segundo Censo de la República Argentina 1895, 1:385-474.
- Lorentz P. 1876. Cuadro de la Vegetación de la República Argentina. En: R. Napp. La República Argentina. Pag. 77-136. Buenos Aires.
- Minnich R. 1983. Fire mosaics in southern California and northern Baja California. *Science* 219:1287-1294.
- Parodi L. 1945. Las Regiones fitogeográficas Argentinas y sus relaciones con la industria forestal. En: F Verdoorn, Plants and Plant Science in Latin America. Waltham, Massachusetts.
- Passera C., O. Borsetto, R. Candia, y C. Stasi. 1992. Shrub control and seeding influences on grazing capacity in Argentina. J. Range Manage. 45:480-482.
- Pfeiffer K. y A. Steuter. 1994. Preliminary response of Sandhills prairie to fire and bison grazing. J. Range Manage. 7:395-397.
- Rostagno C. 1989. Infiltration and Sediment production as affected by soil surface conditions in a shrubland of Patagonia. J. Range Manage. 42:382-385.
- Rostagno C. y H. del Valle. 1988. Mounds associated with shrubs in aridic soils of northeastern Patagonia: characteristics and probable genesis. *Catena* 15:347-359.
- Rostagno C. H. del Valle, y L. Videla. 1991. The influence of shrubs on some chemical and physical properties of an aridic soil in north-eastern Patagonia, Argentina. J. Arid Environ. 20:179-188.
- Soriano A. 1950. La Vegetación del Chubut. *Rev. Arg. Agr.* 17:30-66.
- Soriano A. 1983. Deserts and semideserts of Patagonia. En: N West (ed.). Temperate Deserts and Semideserts. Elsevier, Amsterdam.
- Soriano A. y J. Paruelo. 1990. El pastoreo ovino. Principios ecológicos para el manejo de los campos. *Ciencia Hoy* 2:44-53.
- Walter, H. y H. Lieth. 1960. Klimadiagram-Weltatlas. Gustav Fischer, Jena.
- Wambolt C. y G. Payne. 1986. An 18-year old comparison of control methods for wyoming big sagebrush in southwestern Montana. J. Range Manage. 39:314-319.
- West N. y J. Hassan. 1985. Recovery of sagebrush-grass vegetation following wildfire. J. Range Manage. 38:131-134.
- West N., F. Provenza, D. Johnson, y M. Owens. 1984. Vegetation changes after 13 years of grazing exclusion on sagebrush semidesert in west central Utah. J. Range Manage. 37:262-264.
- Wright H. y A. Bailey. 1982. Fire Ecology. John Wiley and Sons, New York.
- Yeaton R. 1978. A cyclic relationship between *Larrea tridentata* and *Opuntia leptocaulis* in the northern Chihuahuan desert. J. Ecol. 66:651-656.

Ecología del fuego en los ecosistemas montañosos superiores del subtrópico

Héctor Ricardo Grau¹



Bosque de aliso en los ecosistemas montañosos del subtrópico Argentino. Foto: H. Grau

¹ Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas, Universidad Nacional de Tucumán. e-mail: liey@tuccbbs.com.ar

1. Introducción y geografía del área de estudio

Las laderas húmedas situadas en las vertientes orientales de las montañas subtropicales del noroeste Argentino se caracterizan por presentar un pronunciado gradiente altitudinal desde aproximadamente 400 m en el pedemonte hasta líneas cumbres cercanas a los 5000 m. A lo largo de este gradiente la vegetación cambia dramáticamente (Brown *et al.*, 2001). Por debajo de los 1500-2000 m dominan bosques nublados, semiperennifolios donde el fuego es un evento infrecuente, principalmente debido a la alta humedad ambiental. Estos incendios en el bosque nublado de la provincia fitogeográfica de las Yungas, pueden ser de alta intensidad. Sin embargo, salvo observaciones ocasionales (e.g. Mendoza 2001, Grau en prensa), no se ha estudiado ni sus patrones de ocurrencia ni sus consecuencias ecológicas.

A mayor altitud, el clima es más frío y seco (Minetti, 1999). Consecuentemente, en vez de bosques de dosel cerrado, la vegetación es dominada por bosques abiertos de *Alnus acuminata*, bosques aislados de *Polylepis australis*, *Podocarpus parlatorei*, *Escallonia migrifera* (en el extremo norte), y *schinopsis hankeana* hacia el extremo sud, cañaverales de la bambucea *Chusquea lorentiana*, arbustales dominados por diversas especies de *Baccharis* y *Lepechinia graveolens*, y pajonales de gramíneas de los géneros *Festuca*, *Deyeuxia* y *Stipa* (Brown *et al.*, 2001, Giusti *et al.*, 1997). Este mosaico de vegetación ocupa varios millones de hectáreas en el subtropico argentino, distribuidas en la precordillera Salto-Jujeña, y las sierras subandinas y pampeanas de Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca y La Rioja (Figura 1).

Fitogeográficamente, este tipo de paisajes ha sido considerados como parte del distrito del "bosque montano superior" de la provincia fitogeográfica de las Yungas (Cabrera, 1976). Sin embargo, se diferencia florística y funcionalmente de los bosques más continuos situados a menor altitud. Una de las diferencias funcionales más obvias es la alta frecuencia de fuego que caracteriza estos ambientes, por lo que es pertinente tratarlo en este volumen como una unidad diferenciada. Si bien en este trabajo me referiré casi exclusivamente al noroeste argentino, es importante reconocer que esta unidad ecológica guarda similitudes ecológicas y afinidades biogeográficas con los páramos de los Andes tropicales de que se extienden hacia Bolivia y Perú, y con los pastizales altoserranos de mayores latitudes en Argentina (e.g. Córdoba, San Luis, Buenos Aires).

Como todo el noroeste de Argentina, las precipitaciones de ésta zona tienen un régimen monzónico de distribución (inviernos secos, veranos lluviosos, Figura 2). En el nivel altitudinal de este trabajo (1500-2500m) el invierno es frío y seco, con ocasionales nevadas. Durante el invierno, buena parte de la biomasa producida en la estación de crecimiento sufre un completo desecamiento que la convierte en altamente combustible. En consecuencia, el fuego en estos ecosistemas es un disturbio frecuente (aunque en general con menor intensidad que en la selva) y con importantes consecuencias ecológicas.

Los objetivos de este trabajo son: 1) sintetizar los conocimientos sobre los patrones temporales y espaciales del fuego en el mosaico de bosques, pastizales y arbustales ubicados entre los 1500 y 3000 m. en las laderas húmedas del noroeste argentino, 2) analizar algunas de sus consecuencias ecológicas, 3) describir los principales avances metodológicos actualmente disponibles para el estudio de la ecología de fuego en esta región, y 4) identificar líneas prioritarias de investigación para el futuro.

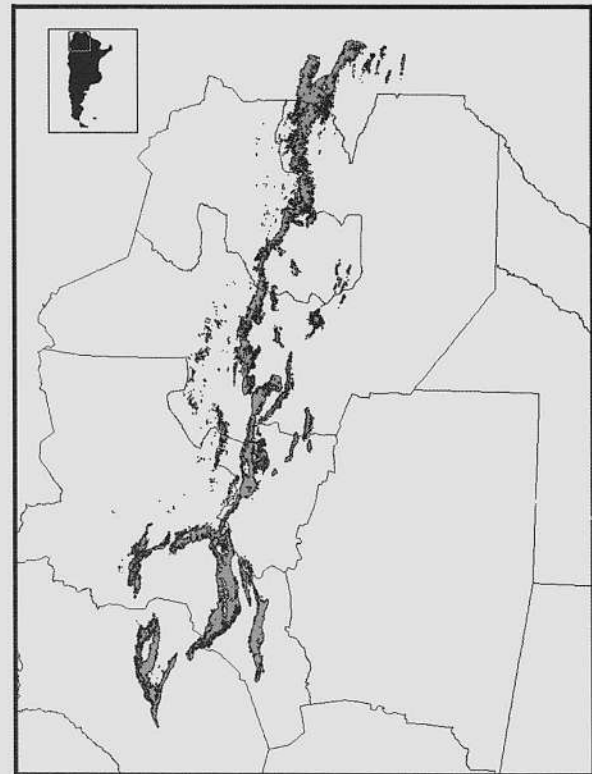


Figura 1. Mapa de distribución de los pastizales de montaña y bosques abiertos en noroeste argentino, basado en análisis de imágenes satelitales SAC-C, elaborado por Pablo Jayat e Ignacio Gaspari, con recursos de la Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal (UMSEF).

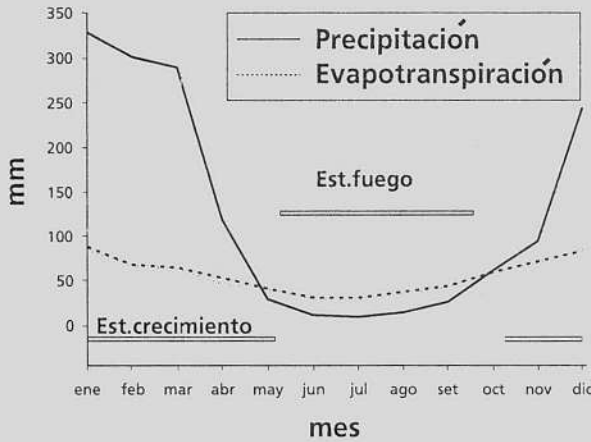


Figura 2. Balance hídrico durante el período 1973-1977 de Laguna de Yala, provincia de Jujuy, un área representativa de los pastizales de montaña en el ecotono con el bosque de *Alnus acuminata*, situada a 2100. En base a Picchi (1984). Se indican los períodos correspondientes a la estación de crecimiento (producción de combustible) y estación de fuego (desecamiento de combustible).

2. Patrones geográficos de fuego

El fuego es probablemente el disturbio más ubicuo de esta ecorregión. Aunque no existen estudios cuantitativos sobre fuentes de ignición, es probable que la mayoría de los fuegos sean de origen antrópico. Entre los principales motivos citados como causantes de fuego se encuentran el uso para promover rebrote de pasturas, control de malezas (arbustos y enredaderas), y en menor medida, dirección de animales de caza (Molinillo y Vides Almonacid, 1989). La mayoría de los fuegos ocurren durante la estación seca (mayo a noviembre, Figura 2). En esta estación las posibilidades de ocurrencias de caída de rayos que puedan actuar como fuentes de ignición son muy bajas. En consecuencia, la frecuencia de fuegos, es probablemente muy afectada por la intensidad de uso antrópico y la densidad de población humana. Por ejemplo, comparando los patrones espaciales de fuegos entre las montañas de Argentina y Bolivia entre los paralelos 21 y 24 Sud (Figura 3), se observa que tanto el porcentaje de área quemada como el área promedio de las quemadas individuales es considerablemente mayor en Bolivia, donde hay mayor densidad poblacional y mayor intensidad de uso. En Argentina, además de menores poblaciones humanas en la montaña, existen una serie de áreas protegidas que incluyen ambientes montañosos superiores y donde se aplica una polí-

tica de prevención de incendios. Así, los Parques Nacionales Los Alisos, Biológico Sierra de San Javier (Tucumán), El Rey, El Nogalar (Salta), y Potrero de Yala y Calilegua (Jujuy) probablemente representen en este momento las áreas con menores frecuencias de fuego del nivel altitudinal estudiado.

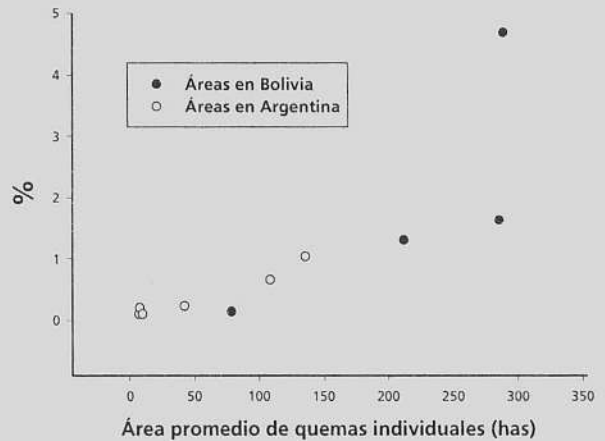


Figura 3. Porcentaje de área quemada y tamaño promedio de quemadas individuales en 1989 en cordones montañosos de la alta cuenca del río Bermejo correspondientes a Bolivia (Depto Tarija) y Argentina (Provincias de Salta y Jujuy).

Un análisis de imágenes satelitales de un año relativamente normal en cuanto a condiciones climáticas, permite describir algunos parámetros salientes del régimen espacial de fuego en la región comprendida entre los paralelos 24° y 30° de latitud (Grau, 2001). Sobre un total de 19 cadenas montañosas, el porcentaje de área quemada osciló entre 0.4 % y 14 % anual del área de pastizal. Esto supondría un intervalo entre fuegos del orden de décadas. Sin embargo, estos promedios deben tomarse con precaución, porque subestiman la importancia de los fuegos de gran extensión. La distribución de tamaños de fuegos es fuertemente asimétrica con la mayoría de los fuegos individuales ocurriendo en las clases de menor tamaño y representando un porcentaje bajo del área total quemada (Figura 4). De un total de más de 600 eventos de fuego, se observó que más del 75 % de los fuegos individuales tenían menos de 20 h y representaban menos del 5% del total del área quemada. En el otro extremo, el 30% del área quemada fue causada por sólo cuatro fuegos de más de 500 h cada uno, alcanzando en un caso más de 2000 h.

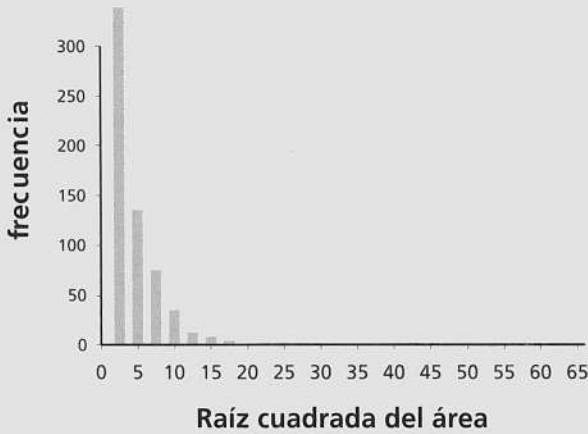


Figura 4. Distribución de tamaños de 643 fuegos ocurridos en pastizales de 19 cordones montañosos entre el los paralelos 24 y 30 del noroeste Argentino (Provincias de Salta, Tucumán, Catamarca y La Rioja). Las clases están presentadas como raíz cuadrada de la superficie de fuegos individuales expresados en hectáreas (modificado de Grau, 2001).

3. Relaciones fuego-clima

El porcentaje de área quemada anualmente mostró un patrón aproximadamente unimodal en relación a las condiciones de humedad de los distintos cordones montañosos, con una mayor incidencia de fuego en sitios de humedad intermedia (entre 700 y 900 mm de lluvias anuales, Grau 2001). Este patrón a lo largo de gradientes de precipitación, se asocia a que en áreas con pocas lluvias el fuego está limitado por la baja producción de combustible, mientras que hacia sectores mas húmedos está limitada por la falta de desecación. Condiciones intermedias de humedad maximizan producción y la pérdida de humedad del combustible (Bond y van Wilgen, 1996).

El análisis de patrones temporales de fuego también indican que aunque los fuegos tienen un origen predominantemente antrópico, las condiciones climáticas influyen significativamente en su propagación. Utilizando métodos dendroecológicos basados en cicatrices de fuego en ejemplares de *Alnus acuminata* que crecen en el ecotono bosque de aliso/pastizal, Grau y Veblen (2000) observaron que la ocurrencia de fuegos se correlaciona con precipitaciones por encima de la media durante períodos previos al evento del fuego (Figura 5). A escala multianual, la mayor probabilidad de fuego ocurre durante períodos precedidos por uno a cinco años con lluvias por encima de la media (Figura 5 a). A escala estacional, se observa que la mayor probabilidad de fuego ocurre cuando las precipita-

ciones han sido altas durante el principio de la estación de crecimiento que precede al fuego y durante la estación de crecimiento del año anterior, mientras que hay una leve correlación negativa con precipitaciones al final de la estación de crecimiento que precede al fuego (Figura 5b). Esto indicaría que los fuegos son controlados mas fuertemente por la producción de combustible fino durante la estación de crecimiento que por la desecación del combustible durante el invierno. A medida que aumenta la presión de pastoreo, la relación entre clima y fuego se hace más débil, probablemente debido a que la remoción de combustible causada por el pastoreo diluye el efecto climático sobre su producción (Grau y Veblen, 2000).

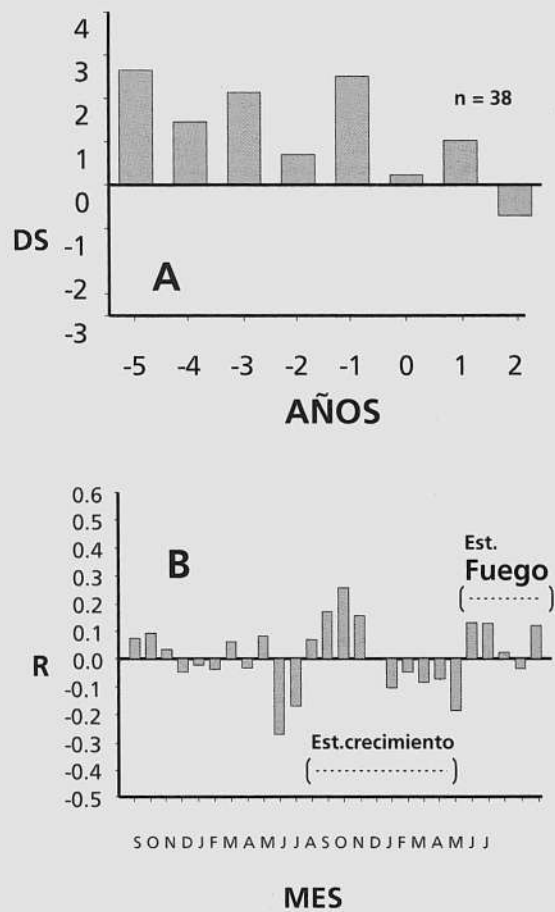


Figura 5. Relaciones entre probabilidad de fuego y condiciones climáticas en ecotonos pastizal-bosque de *Alnus acuminata* en la provincia de Tucumán (basado en Grau y Veblen 2000, modificado de Grau et al. 2003). A), relaciones entre probabilidad de fuego (en año 0) y precipitaciones durante los cinco años precedentes. Valores positivos (en unidades de desviación standard) indican precipitaciones por encima de la media y valores negativos indican desviaciones por debajo de la media. B) correlación entre índice de humedad de De Martone durante los meses previos y probabilidad de fuego.

4. Relaciones fuego-vegetación

El fuego juega un papel central en definir la estructura y composición de la vegetación. Como se mencionó anteriormente, una de las principales motivaciones de la ignición de fuegos es promover el rebrote de pasturas y eliminar vegetación poco palatable como los arbustos y enredaderas. Un estudio de quemadas experimentales (Aragón y Carilla, 2001) en pastizales del valle de los Toldos, Salta, mostró que los pastizales recientemente quemados, aunque tienen menos biomasa, tienen más proporción de biomasa verde que los no quemados durante más de un año. Los pastizales quemados en el invierno, rebrotan vigorosamente durante la primavera, ofreciendo forraje de calidad durante un período crítico de alimentación del ganado.

El fuego también parece jugar un papel importante en la distribución de árboles. Grau y Veblen (2000) documentaron que, si bien el fuego mata individuos de *Alnus acuminata* de tamaño reducido, estos tienen buena capacidad de rebrote y en poco más de 10 años adquieren resistencia al fuego. En consecuencia, en frecuencias intermedias, el fuego podría favorecer la expansión del *Alnus acuminata* sobre el pastizal al reducir la vegetación no arbórea, facilitando el establecimiento de los renovales que requieren condiciones de mucha luz. De esta manera, fuegos ocasionales podrían estar interactuando con el aumento de las precipitaciones ocurrido regionalmente (Minetti y Vargas, 1997; Villalba *et al.*, 1998), para explicar la expansión del bosque de *Alnus* sobre el pastizal observada regionalmente (Grau, 1985).

En pastizales similares de la provincia de Córdoba se ha observado que los fuegos provocan mortalidad de individuos de *Polylepis australis*, lo que explicaría su distribución en sitios relativamente protegidos (Renison *et al.* 2002). Sin embargo, en el noroeste argentino es posible observar bosquecillos establecidos de *Polylepis australis* y *Escallonia migrífera* que tienen resistencia a fuegos de mediana o baja intensidad. Dada la prolongada historia de fuego de estos ambientes, es posible que la mayoría de las especies arbóreas de este nivel altitudinal presenten algún nivel de resistencia al fuego.

Por el contrario, hacia el límite inferior de los pastizales, el fuego parece jugar un papel importante en mantener y hacer descender el límite del pastizal sobre el bosque diverso en áreas con una larga historia de uso antrópico (Grau *en prensa*).

5. Avances metodológicos

La posibilidad de estudiar regímenes de fuego y sus consecuencias ecológicas depende de la capacidad de registrar eventos de fuego en escalas espaciales y temporales grandes. En el noroeste de Argentina no existen observaciones sistemáticas ni estadísticas de fuego. Sin embargo, dos tipos de avances metodológicos recientes permiten cubrir escalas regionales y multidecadales.

La creciente evolución de la tecnología satelital provee en este momento más de dos décadas de imágenes multiespectrales adquiribles comercialmente (Sabins, 1987), a lo que se suma un creciente número de nuevos productos. Los fuegos ocurren en invierno y primavera, período en el que también es menor la cobertura de nubes, lo que permite obtener imágenes de buena calidad para casi todos los años. Las características espectrales de las áreas recientemente quemadas son marcadamente diferentes de las de la vegetación intacta y solo pueden confundirse en algunos casos con áreas de suelo desnudo (Grau, 2001), pero estas zonas (e.g. playas de ríos, deslizamientos de ladera, zonas con erosión severa) pueden reconocerse porque en general tienen mayor brillo o porque tienen patrones espaciales característicos distintos de los incendios. Dado que durante el invierno la recuperación de la vegetación es muy lenta, las áreas quemadas son distinguibles en las imágenes durante varios meses. En consecuencia, imágenes obtenidas a fines de primavera (por ejemplo, octubre), permiten identificar y mapear la mayoría de los fuegos ocurridos durante el año. Debido a ello, el uso de imágenes satelitales multiespectrales (e.g. Landsat, SPOT), permite describir patrones espaciales de fuego en estos ecosistemas a gran escala espacial durante las últimas dos décadas, con resolución temporal anual y resolución espacial del orden decenas de metros. Entre las nuevas opciones, se destaca el satélite argentino SAC-C, con menor resolución espacial pero excelentes características para estudios regionales y estacionales a menor costo.

Por otro lado, las técnicas dendroecológicas (basadas en anillos de crecimiento), típicamente restringidas a ambientes templados presentan buenas oportunidades para datación de eventos de fuego en el subtropico argentino, donde debido a la fuerte estacionalidad climática, muchas especies muestran anillos anuales de crecimiento (Grau *et al.*, 2003). La especie que ha demostrado mayor potencial para estudios dendroecológicos en estos ecosistemas es *Alnus acuminata*, por su abundancia, producción de anillos anuales de crecimiento fácilmente distinguibles y la formación de cicatrices de fuego que no matan los in-

dividuos adultos. Esto ha permitido describir patrones de fuego y relaciones fuego-clima por varias décadas, con algunos eventos de fuego datados para la primera mitad del siglo XIX (Grau y Veblen, 2000). Otras especies con potencial para estudios dendroecológico de fuego en estos ambientes son *Juglans australis*, *Ilex argentina*, y *Cedrela lilloi* (Grau et al., 2003) de más de un siglo de longevidad, a lo que podrían sumarse algunas especies arbustivas para escala de pocas décadas.

6. Reflexiones finales y prioridades de investigación

El fuego constituye uno de los principales factores ecológicos en las laderas subtropicales húmedas del Noroeste de Argentina entre los 1500 y los 3000 m, afectando la dinámica de la vegetación y probablemente otras propiedades ecológicas del mosaico de bosques, pastizales y arbustales que caracterizan este nivel altitudinal. El régimen de fuego está controlado por variables climáticas, de uso de suelo y de la vegetación. La principal limitante climática de la probabilidad de fuegos, parece ser la disponibilidad de agua durante la estación de crecimiento, que regula la producción de combustible fino. El uso antrópico influye en el régimen de fuego de dos maneras principales. Por un lado, aumentando las fuentes de ignición y por otro, a través del pastoreo, removiendo el combustible fino lo que disminuye la probabilidad de fuegos.

Entre las líneas de investigación que emergen como prioritarias se encuentran.

1- Explorar las interacciones entre factores climáticos y antrópicos (principalmente prácticas asociadas a la ganadería) como factores reguladores de la frecuencia e intensidad de fuego y aplicar estos estudios para predecir las consecuencias de cambios climáticos y de uso de suelo en estos ecosistemas.

2- Estudiar las consecuencias ecológicas y económicas (e.g. dinámica de nutrientes, erosión, hidrología) de distintos regímenes de fuego.

3- Estudiar la dinámica de combustible y su relación con probabilidad de fuego en distintos tipos de vegetación y prácticas de manejo dentro de este piso altitudinal.

4- Afinar el conocimiento entre relaciones fuego-clima a escalas temporales más cortas (e.g. días, semanas), incluyendo estudios del efecto de la neblina de gran importancia en estos ecosistemas (Hunzinger, 1995), para desarrollar índices de probabilidad de fuego con directas aplicaciones a la evaluación del riesgo de incendios y prevención.

5- Explorar las consecuencias de distintos regímenes de fuego para distintos objetivos de manejo entre los que se destacan la optimización de la producción de forraje palatable y digerible para la ganadería y la generación de habitat para la conservación de la biodiversidad.

Los recientes desarrollos de técnicas de análisis de imágenes satelitales y dendroecológicas permiten estudiar los regímenes de fuego en estos ecosistemas a escala regional y durante períodos tan largos como un siglo. En combinación con estudios experimentales, estas técnicas se presentan como muy promisorias para abordar los objetivos de investigación mencionados.

Agradecimientos

Los estudios más importantes sintetizados en este artículo fueron financiados por subsidios de National Geographic Society (Estados Unidos), International Foundation for Science (Suecia), la Agencia de Promoción Científica (FONCYT) y el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT). La Figura 1 fue elaborada por Pablo Jayat e Ignacio Gaspari, con recursos de la Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal (UMSEF). La fotografía de presentación es de Alfredo Grau.

7. Bibliografía

- Aragón M. y J. Carilla. 2001. Efecto del fuego sobre la distribución de biomasa aérea en un pastizal de montaña. Resúmenes III Reunión Regional de Selvas de Montaña, San Salvador de Jujuy, pp 10-11.
- Bond W. y B. van Wilgen. 1996. Fire and plants. Chapman & Hall, Londres.
- Brown A., H. Grau, H., L. Malizia y A. Grau, A. 2001. Argentina. Págs. 623-659 en M. Kapelle y J. Brown, Eds. Bosques nublados del neotrópico. INBIO. Costa Rica.
- Cabrera A. 1976. Regiones fitogeográficas de la República Argentina. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. ACME. Buenos Aires. 85 pp.
- Giusti L., A. Slanis y P. Aceñolaza. 1977. Fitosociología del bosque de los bosques de Aliso (*Alnus acuminata*, H. B. K. subsp *acuminata*) de Tucumán, Argentina. Lilloa 38: 93-124.
- Grau A. 1985. La expansión del Aliso del Cerro (*Alnus acuminata* H. B. K. subsp *acuminata*) en el noroeste de Argentina. Lilloa 237-247.
- Grau H. En prensa. Dinámica del bosque en el gradiente altitudinal de las yungas argentinas. En J. Frangi y M. Arturi, eds. Ecología y Manejo de los Bosques Argentinos. Universidad Nacional de La Plata.
- Grau H. 2001. Regional-scale spatial patterns of fire in relation to rainfall gradients in sub-tropical mountains, NW Argentina. Global Ecology and Biogeography 10: 133-146.
- Grau H.; T. Easdale, y L. Paolini. 2003. Subtropical dendroecology. Dating disturbances and forest dynamics in northwestern Argentina montane ecosystems. Forest Ecology and Management . En prensa.
- Grau H. y T. Veblen. 2000. Rainfall variability, fire and vegetation dynamics in neotropical montane ecosystems in north-western Argentina. Journal of Biogeography 27: 1107-1121.
- Hunzinger H. 1995. La precipitación horizontal: su importancia para el bosque y a nivel de cuencas en la Sierra de San Javier, Tucumán, Argentina. Pags 53-58 en A. Brown y H. Grau, Eds. Investigación, conservación y desarrollo en selvas subtropicales de montaña Proyecto de Desarrollo Agroforestal/ LIEY. Tucumán.
- Mendoza E. 2001. Estudio de clima con relación a un incendio forestal en la selva montana tucumana. Resúmenes de la III Reunión Regional de Selvas de Montaña, San Salvador de Jujuy. Pp 32.
- Minetti J. 1999. Atlas climático del Noroeste Argentino. Laboratorio Climatológico Sudamericano, Fundación Zon Caldenius. Tucumán.
- Minetti J. y W. Vargas. 1997. Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of th 15° S. Atmósfera 11:205-221.
- Molinillo M. y R. Vides-Almonacid. 1989. Uso de los recursos naturales en el bosque de Aliso de la provincia de Tucuman. Avances en Investigación INGEMA 1: 1-20.
- Picchi C. 1984. Balance hídrico de la Estación Biológica Laguna El Rodeo (Yala), Provincia de Jujuy. Publicación Técnica 1, Dirección de Estaciones Experimentales, Gobierno de la Provincia de Jujuy. 10 pp.
- Renison D., A. Cingolani y R. Suarez, R. 2002. Efectos del fuego sobre un bósquecillo de *Polylepis australis* (Rosaceae) en las montañas de Córdoba, Argentina. Revista Chilena de Historia Natural 75: 719-727.
- Sabins F. 1987. Remote Sensing. Principles and Interpretation. Freeman.
- Villalba R., H. Grau, J. Boninsegna, G. Jacoby y A. Ripalta. 1998. Tree-ring evidence for long-term rainfall changes in subtropical South America. International Journal of Climatology 18: 1463-1478.

Comportamiento del fuego: una introducción

Carlos Kunst¹ y Norberto Rodríguez²



1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero.
e-mail: ckunst@correo.inta.gov.ar

2 Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Chubut. e-mail: norberto@ciefap.cyt.edu.ar

1. Introducción

En el paisaje de nuestro país es común observar el fuego en las comunidades vegetales. Generalmente se piensa que dichos fuegos son 'todos iguales', es decir que poseen las mismas características, efectos y consecuencias. Esto no es verdad: todos los fuegos no 'son iguales'. ¿Porque?

La primera evidencia surge de que todos los fuegos no ocurren en el mismo tipo de ecosistema, es decir que el clima, suelo y los combustibles no son similares. Por lo tanto, los fuegos y sus efectos tampoco pueden ser 'iguales'. Para profundizar y establecer diferencias entre fuegos debemos estudiar su 'comportamiento' y medir, asignar unidades y magnitudes, registrar, etc. Interpretar y predecir su comportamiento es un aspecto esencial en el manejo de fuego, tanto para extinguirlo como para aplicarlo para fines agropecuarios y forestales.

El objetivo de este capítulo es definir que es el comportamiento del fuego, analizar las características ambientales (clima y vegetación) que lo influyen; y la aplicación de estos conocimientos en la ciencia y arte de la ecología y manejo del fuego. La discusión es de nivel introductorio.

2. Comportamiento del fuego

Conceptualmente se define como 'comportamiento del fuego' a la manera en que se produce la liberación de energía (E) durante la combustión (Trollope 1991) Técnica mente, se la denomina 'tasa de liberación de E en función del tiempo'. Esta liberación puede ser 'suave' o 'violenta', de acuerdo a las circunstancias meteorológicas, del combustible y del paisaje. De allí las diferencias entre fuegos, y la aserveración que todos los fuegos no son iguales.

Existen dos escuelas en el estudio del comportamiento del fuego: La primera o tradicional surgió de la necesidad de estudiar el fuego para prevenirlo y planificar su extinción (ataque); y es la que se enseña en todos los cursos de prevención de incendios forestales (ej. la tríada oxígeno, calor y combustibles) y mantiene una connotación 'negativa' del fuego. El segundo enfoque está ligado a una visión del fuego como disturbio y estudia la liberación del calor, los factores que la influyen y sus efectos sobre el ecosistema, sin emitir juicio sobre sus aspectos positivos o negativos.

El comportamiento del fuego se evalúa a través de dos conceptos: su intensidad y severidad. Previamente, es necesario comprender el proceso de combustión y los distintos tipos de fuego.

2.1 Combustión

La combustión de material vegetal es un proceso de oxidación donde la E fijada durante la fotosíntesis (FS) es liberada. Esta oxidación puede considerarse como la reacción inversa de la FS, adonde la energía es aportada por el sol (Trollope 1991). Para que se produzca combustión de material vegetal, el combustible debe alcanzar un umbral de temperatura de aproximadamente 350 °C (extremos 250 - 400 °C, etapa de precombustión o precalentamiento). Generalmente la fuente de energía es un agente externo, por. ej. un fósforo. El agua contenida en el tejido vegetal alcanza la temperatura de ebullición y se produce destilación de productos orgánicos. El proceso de 'desalojo' del agua en los tejidos vegetales requiere grandes cantidades de calor y es uno de los elementos clave a tener en cuenta para 'regular' la intensidad de una quema prescrita. Cuando el proceso avanza, toda el agua es removida, y se produce volatilización de otros productos orgánicos que reaccionan con el oxígeno del aire y estallan en llamas, comenzando un proceso que se alimenta a sí mismo (Agee 1993, Wright y Bailey 1982, Figura 1).

El calor liberado por la combustión es el causante de los cambios en el ecosistema producidos por el fuego (Wright y Bailey 1982, Trollope 1991b). El calor se define como energía en movimiento o en tránsito (Heinemann 1993), propagándose a través de tres mecanismos básicos: conducción, radiación y convección, siendo las dos últimas las más importantes en los fuegos de vegetación (Rothermel 1983). La conducción se define como la transmisión del calor molécula a molécula, por agitación o choques

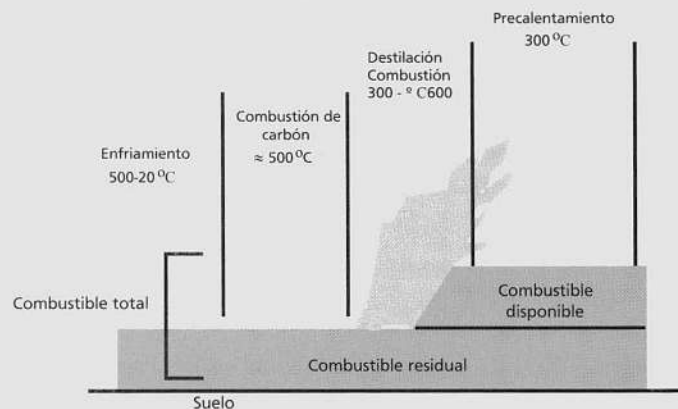


Figura 1. El proceso de combustión en un fuego de vegetación que consume combustibles finos (modificado de Agee 1993).

entre moléculas. No existe movimiento de materia y es propia de los sólidos. La convección es el desplazamiento visible de materia por diferencia entre densidades en un fluido (corrientes de convección). Por último, la radiación es la transmisión de calor por ondas electromagnéticas. La misma acompaña a ondas luminosas (radiación infrarroja) y no interviene la materia (Heinemann 1993). Un cuarto mecanismo de transmisión del calor, propuesto por Agee (1993) es la transferencia de masa, es decir la formación de pavesas.

La radiación y convección son los mecanismos que provocan los cambios en los ecosistemas, como por ej. el chamuscado o carbonización de los fustes y del follaje verde de los árboles.

2.2 Tipos de fuego

Cuando un fuego es encendido en forma puntual (ej. por un fósforo), se forma primero un área circular que luego evoluciona a ovoide o elíptica y cuyo eje mayor coincide con la dirección del viento (Figura 2, Rothermel 1984, Anderson 1982). Quedan así determinados 3 tipos 'básicos' de fuego: (a) frontal o a favor del viento; (b) en contra del viento o en retroceso, también llamado 'a contrapelo'; y (c) los fuegos de flanco (Green 1981, Wade y Lunsford 1988, Trollope 1992). El fuego que avanza a favor del viento es el "fuego frontal" que posee, para condiciones climáticas constantes, la máxima velocidad, largo de llamas e intensidad. El fuego en retroceso es más lento, posee menor largo de llama e intensidad. Los fuegos de flanco, cuyo eje de avance es de 90° con respecto a la dirección del viento poseen largo de llama, velocidad e intensidad intermedias respecto a los anteriores (Green 1981, Wade y Lunsford 1988, Figura 2).

Otro enfoque para clasificación de fuegos es el propuesto por Rodríguez (1997):

Fuegos de copa. Los fuegos de copa son de gran intensidad, de rápido movimiento y conducidos generalmente por el viento. El tamaño de las llamas puede ser impresionante. Usualmente los fuegos de copas están asociados con incendios de superficie muy intensos.

Fuegos de superficie. Los fuegos de superficie son de intensidad variable, pero pueden causar

calentamiento del suelo si ésta es alta, acentuándose el efecto si el suelo está poco o nada protegido por hojarasca, material orgánico descompuesto y humus (mantillo).

Fuegos de rescoldo. En ellos las llamas no poseen grandes dimensiones, y arden en forma lenta, por un considerable periodo de tiempo, desde minutos hasta días. Las temperaturas alcanzan fácilmente los 450 a 600 °C. En esta categoría están incluidos los fuegos denominados superterráneos, que arden con muy poca presencia de oxígeno. Los fuegos de rescoldo de larga duración producen un calentamiento del suelo que puede alterar sus condiciones físicas y químicas.

2.3 Intensidad del fuego

En forma conceptual es definida como la tasa de liberación de E por unidad de longitud del frente de fuego (Agee 1993). La intensidad del fuego es un importante atributo para caracterizar el comportamiento durante su ocurrencia y está directamente relacionada con sus efectos sobre los objetos presentes sobre el nivel del suelo y envueltos por las llamas, es decir a la muerte o daño de tejido vegetal (Rothermel y Deeming 1980, Alexander 1982, Wade 1986, Ta-

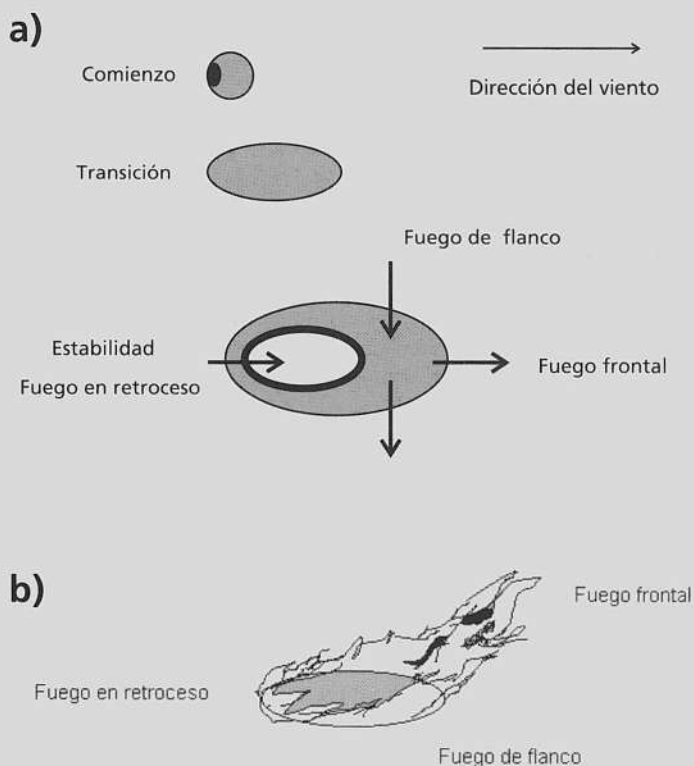


Figura 2. Dinámica y tipos de un fuego en función del viento. a) En una primera etapa el fuego tiene forma circular, para luego cambiar a ovoide, con su eje principal en el sentido del viento. b) Una visión tridimensional.

bla 2). A mayor intensidad de fuego, mayor es la cantidad de energía liberada y los objetos cercanos están expuestas a una mayor 'dosis' de calor. La intensidad, sin embargo, esta poco relacionada con los efectos del fuego bajo la superficie del suelo. La intensidad de los fuegos está en relación directa con la estrategia general para su control (Tabla 1).

El producto de $k \cdot CC$ representa la cantidad de calor total que puede emitir un combustible: k es el calor de combustión o poder calorífico de cada tipo de combustible, alrededor de $20.000 \text{ kJ.kg}^{-1}$, o $4-5 \text{ kcal.kg}^{-1}$. Debido a la ineficiencia de la combustión en la práctica (ej. por falta de oxígeno), se emplea el calor de combustión o poder calorífico inferior, que se estima en alrededor de $16.000 - 17.000 \text{ kJ.kg}^{-1}$ (Albini 1976). El calor de combustión varía de acuerdo a la fenología y estado fisiológico de las especies vegetales y también de acuerdo al órgano considerado, pero desde el punto de vista práctico se considera una constante (Tabla 2). Si k es una constante, la intensidad es directamente proporcional a la velocidad de avance y a la cantidad de combustible presente por unidad

Tabla 1. Intensidades del frente de fuego y sus características (modificado de Rothermel 1983)

Intensidad del frente de fuego (kW/m)	Largo de llamas (m)	Características
0 - 258	0 - 1	Fuegos 'fríos'. Control mediante herramientas manuales. Fuegos prescritos bajo dosel
258 - 2800	1 - 3	Fuegos 'calientes'. Control mediante cortafuegos y maquinaria. Fuegos prescritos en pastizales.
Más de 2800	más de 3	Fuego en árboles ('coronamiento'). Control difícil. No ataque directo.

de superficie que esté en condiciones de ser consumido. El contenido de humedad del combustible y su relación con la humedad del aire (lagtime = tiempo de retardo) juegan un papel fundamental en la cantidad que va a quemarse finalmente en la práctica y es uno de los elementos de la prescripción. Como regla general, puede predecirse que los fuegos serán más intensos en donde hay mayor cantidad y/o consumo de combustible.

$$I = k \cdot CC \cdot VA \text{ [3]; y}$$

$$I = 259,83 \cdot LL^{2,174} \text{ [4],}$$

donde: I = intensidad, que se expresa en kW por unidad de tiempo y por m lineal del frente de fuego.

Las fórmulas [3] y [4] estiman el mismo atributo, pero utilizan distinta información. La fórmula [3] es 'clásica' y académica. Su autoría corresponde a Byram (Alexander 1982). Los términos de la ecuación son:

k = calor de combustión inferior o poder calorífico inferior del combustible, es decir la cantidad de calor por unidad de peso del combustible, en kJ.kg^{-1} (kilojoules por kg);

CC = cantidad de combustible que se está quemando en el sector activo del frente de fuego, en kg.m^{-2} , y

VA = velocidad de avance del frente de fuego en m.seg^{-1} .

Tabla 2. Calor de combustión de distintas especies.

Ecosistema	Especie	Organo	Estación o Estado fenológico	Calor de combustión kJ.kg^{-1}	Fuente
Mediterráneo	<i>Quercus coccifera</i>	hojas	-	19253	1
		ramas	-	18582	1
		-	Primavera (Mayo)	21065	2
		-	Otoño (Noviembre)	20387	2
Sudáfrica	<i>Panicum maximum</i>	hojas	madurez	17677	3
		hojas	vegetativo inicial	17936	3
Chaco argentino	<i>Pappophorum pappipherum</i>	hojas	madurez	16095	4
		-	-	18834	5

Fuentes consultadas:

1. Dimitrakopoulos y Panov, 2001
2. Elvira Martín y Hernando Lara, 1989
3. Trollope, 1984
4. Vélez, 1997
5. Melillo, 1937

Por ello generalmente se calcula la carga de combustible total por alguno de los métodos descritos en un capítulo de este libro, informándose también su contenido de humedad.

La velocidad de avance (VA) se estima mediante cronómetros en fuegos accidentales o midiendo el tiempo que tarda el frente de fuego en recorrer una distancia determinada en fuegos experimentales (Brown 1972).

La fórmula [4] emplea como variable independiente el largo o longitud de llama para esti-



Figura 3. El largo o longitud de llama promedio de un frente de fuego es indicativo de su intensidad.

mar la intensidad (LL, m, Figura 3) y es utilizada en condiciones de campo. El largo de llama es un fenómeno muy variable, y pueden aplicarse distintos métodos para su estimación (Ryan 1981). En ciertos fuegos es posible estimarlo visualmente por lo menos por dos observadores independientes. El empleo de cámaras fotográficas o de video que poseen cronómetro incorporado es también otro método utilizado.

En teoría, las fórmulas [3] y [4] deberían coincidir en los resultados. Sin embargo, esto no sucede debido a que una proporción de combustible siempre se quema luego del pasaje del frente principal en forma de fuego de rescoldo, es decir que no contribuye al frente de fuego (Johnson 1982). Los fuegos 'fríos' y 'calientes' se distinguen entre sí por el largo de llama, siendo los fuegos fríos los de llama más corta.

2.4. Severidad del fuego

Es un atributo relacionado con el efecto del fuego sobre el ecosistema en su totalidad, (plantas y suelo). Ryan y Noste (1983) sugieren el empleo de dos criterios, combinados en forma de matriz para caracterizar la severidad del fuego. La intensidad, se clasifica por el largo de llama observado; y el grado de carbonización y/o

consumo de los combustibles quemados (Tabla 3). El estado y color de las cenizas y del suelo luego del fuego son elementos complementarios. Para interpretar la severidad se deben tener en cuenta las características del ecosistema quemado, carga y tipo de combustible, edad, estado fisiológico y fenológico de los organismos en el momento que ocurre el fuego (Ryan y Noste 1983). La relación de la severidad con la intensidad no es directa: un fuego de rescoldo posee baja intensidad, pero alta severidad; es decir consumir totalmente los combustibles y esterilizar el suelo.

La severidad es un criterio empleado para caracterizar el régimen de fuego en un ecosistema. Brown (2000) reconoce 4 tipos de regímenes:

1. Fuegos de sotobosque (bosques y arbustales): los fuegos no matan las especies dominantes y no cambian la composición botánica ni su estructura

2. Fuegos de reemplazo de comunidades (bosques, arbustales, sabanas y pastizales): el fuego mata toda la estructura aérea (> 80%) de la vegetación dominante, cambiando su estructura, por lo menos por 1-3 años.

3. Fuegos de severidad mixta: la mortalidad de las especies al fuego es selectiva, dependiendo su susceptibilidad al fuego.

4. Sin fuego.

3. Factores que influyen el comportamiento del fuego

El comportamiento del fuego es afectado por el clima, tiempo meteorológico, carga y tipo combustibles, historia previa, topografía, turbulencia del aire, cantidad, y otras características intrínsecas del combustible, etc. La presentación que sigue es introductoria: el análisis completo del comportamiento del fuego y sus factores escapa al objetivo de este capítulo. Si el 'modelo de combustible' es 'fijo', los tres factores que más influyen sobre el comportamiento del fuego son:

- (a) humedad relativa del aire y (HR, %),
- (b) temperatura del aire (T, °C), y
- (c) velocidad del viento (VV, m.s⁻¹, km.h⁻¹).

La T, VV y HR, son también elementos del clima: el éxito en el manejo del fuego depende de un conocimiento profundo del mismo (Dentoni 1996). Existe un 'clima o ambiente de

fuego', es decir el estado de la atmósfera definido por los elementos del clima y que rodea al lugar del fuego hasta una distancia que afecte el comportamiento del mismo (Green 1981). Se debe poseer un pronóstico meteorológico general, otro local y tomar datos de T, VV y HR en el lugar antes, durante y después de la quema, ya sea esta prescripta o accidental (Wade y Lunsford 1988).

3.1 Humedad relativa del aire (HR, %).

La humedad relativa del aire (HR) es un factor de importancia clave en el comportamiento del fuego. La HR influye directamente el contenido de agua del combustible (CH), que su vez

Clases de largo de llama	
1	0-30 cm
2	30-120 cm
3	120-240 cm
4	240-360 cm
5	> 360 cm

Categorías de severidad	Grado de carbonización			
	Mantillo	Residuos leñosos	Vegetación presente	Varios
1. Sin quemar	0	0	0	0
2. Ligera	carbonizado	Carbonizado levemente	Sólo daños parciales en hojas y ramitas	Suelo sin daño
3. Moderada	Consumido	Consumido 50 %	Bases de plantas quemadas	Suelo sin daño
4. Severa	Consumido	Consumido totalmente	Idem	Suelo dañado

Tabla 3. Severidad del fuego: matriz propuesta por Ryan (1983), modificada.

controla el proceso de combustión. El agua es un elemento de gran calor específico y requiere de gran cantidad de calor para cambiar de estado líquido a vapor. Cuando hay humedad en exceso, el vapor de agua desalojado por el calentamiento del combustible causa 'ahogo' del fuego al impedir acceso libre de oxígeno para la combustión, con tardanzas en la ignición y propagación del frente; o directamente impidiendo totalmente la combustión. Los combustibles compuestos por tejido vegetal muerto absorben humedad de la atmósfera o la pierden, en equilibrio con la HR del aire, es decir son higroscópicos. A mayor CH, menor intensidad del fuego.

Distintos experimentos han demostrado que en situaciones de campo y siempre dentro de un mismo 'modelo' o 'tipo' de combustible, las variaciones en comportamiento del fuego dependen mucho más de su CH que de la estructura, continuidad, grado de compactación y/o composición química (Johnson y Miyaniishi 1995).

La velocidad para alcanzar el punto de equilibrio entre HR y CH depende de la relación entre

el volumen y la superficie de los combustibles, magnitud que su vez depende del diámetro de los mismos. La relación entre CH y HR se expresa a través del concepto de 'tiempo de retardo' (timelag): por ej. combustibles finos (diámetro menor a 5 mm, entre los que se encuentran la acículas de pino y los pastos.), con tiempo de retardo = 1 hora, alcanzan su equilibrio con la HR en 1 hora más o menos (Ryan 1990). Esto quiere decir que luego de una lluvia ligera, y si el viento ocasiona una disminución de la HR cercana al 30-40 %, pastos y acículas secos están en condiciones de propagar fuego en 1 hora. De acuerdo a su tiempo de retardo, los combustibles se clasifican en 1, 10, 100 o 1000 horas.

El combustible fino es un elemento muy importante en los ecosistemas porque el fuego se origina generalmente en él. Existen algunas normas generales para estimar su CH en condiciones de campo: así, a HR = 100%, el combustible seco y fino alcanza un CH = 30% como máximo (Albini 1976). Aumentos mayores a esa magnitud requieren rocío o lluvia. Una HR = 40% es

un umbral clave: por debajo de este valor, los combustibles finos queman fácilmente y casi con la misma intensidad hasta una HR = 20%. Por arriba de HR = 40%, el peligro de pavesas es mínimo, pero por debajo de HR = 20%, los combustibles finos queman ruidosamente (crepitan) y el peligro de pavesas aumenta en forma peligrosa (Wright y Bailey 1982):

El CH = 30 % del combustible fino y seco es llamado el 'punto de extinción': a ese CH el fuego no puede propagarse, aún bajo luz solar directa (Wright y Bailey 1982). Si el CH de los combustibles se encuentra por debajo de un 7%, el comportamiento del fuego se hace peligroso debido a la probabilidad de pavesas y el combustible fino se quema totalmente. Por ej. un CH 'ideal' del combustible fino para una quema prescrita es aproximadamente 15%, que se corresponde a HR mayor del 30 %. Los escapes de fuego son raros con CH = 11% o mayores (Wright y Bailey 1982).

La temperatura del aire afecta directamente la HR, que disminuye cuando la primera aumenta. En forma general, por cada 10-11 °C de aumento en T, la HR actual disminuye un 50%. En forma opuesta, cada 20 °C de disminución de T, la HR actual aumenta en un 50%. Se debe tener en cuenta sin embargo que aunque la disminución de HR y CH es rápida con el aumento de T en la mañana, el aumento de la HR y el CH con la disminución de T al atardecer no procede con la misma velocidad. Se debe esperar a veces hasta la caída del sol para lograr aumentos sustanciales en HR y CH para poder manejar el fuego de manera eficiente.

3.2 Temperatura del aire (T, °C):

El aire es el medio donde ocurren los fuegos de vegetación. La temperatura del aire influye sobre su comportamiento en forma directa, a través del efecto de aceleración sobre la reacción química de oxidación: por cada 10 °C de aumento de la temperatura, la velocidad de una reacción química se duplica. Por otra parte, los combustibles, al calentarse con la radiación solar durante el día, necesitan de menos calor para su precalentamiento antes de la ignición (Green 1981). Altas temperaturas del aire colaboran además en la creación de corrientes de convección cerca del suelo que actúan como chimeneas, acarreado chispas, partículas o pedazos de leña encendidas ('pavesas') que incrementan el peligro de escapes; o que desarrollan 'remolinos' de fuego (Green 1981, Wright y Bailey 1982).

De acuerdo a la experiencia, el comportamiento del fuego es muy peligroso cuando la temperatura del aire sobrepasa los 30 °C (Wright y Bailey 1982). El peligro de pavesas es mínimo cuando la T es menor a 15 °C, pero aumenta en forma exponencial cuando la misma se supera.

Una T = 27 °C es un umbral clave: por arriba de la misma el fuego se vuelve inmanejable (Wright y Bailey 1982).

3.3 Velocidad del viento (VV, Km.hora⁻¹, m.seg⁻¹.)

El viento acelera la provisión de oxígeno, aumentando así la velocidad de combustión. También transporta aire caliente a favor del viento, aumentando la temperatura del combustible inmediatamente adelante del frente de fuego, provocando el desalojo del agua (es decir secándolo), lo que resulta en una ignición más rápida y de mayor intensidad. El viento, tanto el 'normal' como el creado por convección por el mismo calor del fuego, forma pavesas y las traslada delante del frente de fuego (Green 1981).

Salvo excepciones, no se debería intentar quemar en atmósfera calma o con viento muy leve: los fuegos se comportan de una manera más predecible cuando la VV y su dirección son estables. Cuando no hay movimiento de aire, la interacción entre calor de convección, cantidad, características y continuidad de combustibles, color del paisaje, etc., pueden favorecer la creación de fenómenos difíciles de manejar, como por ej., remolinos de fuego (Countryman 1971, McRae y Flannigan 1990).

La máxima VV a la cual se pueden conducir fuegos es de 30 Km/h, medido a 1,5 -1,6 m de altura sobre el terreno (altura de la vista). Más allá, el peligro de escapes por pavesas y creación de situaciones inmanejables es muy alto.

Las calles para extracción y los claros del bosque producidos por muerte de plantas o limpieza modifican la velocidad y dirección del viento y pueden afectar el comportamiento del fuego. Esa modificación puede ser violenta e inmanejable, y debe tenerse especial cuidado en la planificación y ejecución de quemar prescritas.

3.4 Otros factores que afectan el comportamiento del fuego

Otros factores que en la práctica también influyen el comportamiento del fuego son las características del combustible y la topografía. Las posibilidades de 'manejar' estos factores es más limitada que en el caso anterior.

3.4.1 Combustible

Las características del combustible a quemar que afectan el comportamiento del fuego son: tamaño, humedad, cantidad, composición química y compactación ('densidad') (Trollope 1984, Green 1981, Rothermel 1983). Se debe tener en cuenta que en condiciones de campo, los combustibles no son homogéneos, sino que existe variabilidad en altura y en el espacio (continuidad).

El calor de combustión y la inflamabilidad dependen de la composición química del com-

combustible que es, a su vez una característica intrínseca de cada especie. La celulosa y otros hidratos de carbono, que implican más del 50% de la estructura de los vegetales son los responsables directos del calor de combustión de los combustibles de ese origen. Las ceras, aceites esenciales, grasas y terpenos proporcionan más calor: más del 8% de extracto de éter hacen los combustibles muy inflamables (Green 1981, Wright y Bailey 1982, Fonda et al. 1998, Kaloustian et al. 1998). Los combustibles naturales se clasifican como de 'alta' o 'baja' volatilidad, de acuerdo a su composición química y su facilidad para generar pavesas (Wright y Bailey, 1982).

3.4.2 Topografía

La topografía afecta el comportamiento del fuego a través de la pendiente. Cuando un fuego avanza a favor de la pendiente se produce el mismo efecto que cuando el viento es muy fuerte. Un fuego quemando en pendientes de 20 a 39 % se propaga dos veces más rápido que uno en terreno llano. Sin embargo, cuando el viento es excesivo, se produce un achatamiento de la llama contra el suelo, lo que puede prácticamente apagar el fuego.

4. Reflexiones finales

Todos los fuegos no son iguales. Una primera diferencia surge de las características particulares de los ecosistemas donde ocurren. Una vez

que el 'modelo de combustible' esta fijado, para diferenciarlos y conocerlos, debemos estudiar su comportamiento, que se define como la manera o modo en que la energía contenida en el combustible es liberada durante la combustión o proceso del fuego. Conocer y predecir el comportamiento del fuego tiene importancia ecológica y práctica, para poder manejar el fuego en su carácter de prescripto o para controlar fuegos indeseados.

La energía liberada es transmitida a los objetos cercanos al fuego a través de los mecanismos de conducción, radiación y convección, siendo estos dos últimos los más importantes en fuegos de vegetación. Los dos atributos principales empleados para caracterizar el comportamiento del fuego son su intensidad, que se mide en kW.m^{-1} de frente de fuego; y su severidad, que se estima observando los cambios que produce el fuego en sus alrededores. En la práctica, la intensidad del fuego puede estimarse por el largo de llamas.

Los tres factores más importantes que influyen sobre el comportamiento del fuego son: la humedad relativa del aire (HR), la temperatura del aire (T), la velocidad del viento (VV). La HR es un elemento clave ya que influencia el contenido de humedad de los combustibles, factor que afecta directamente el comportamiento del fuego. La T, VV y HR, son también elementos del clima: el éxito en el manejo depende de un conocimiento profundo del mismo y de la vegetación donde ocurre.

5. Bibliografía

- Agee J. 1993. Fire ecology of the Pacific Northwest forest. Island Press, Covelo, California.
- Albini F. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. USDA Forest Service GTR - INT 30.
- Alexander M. E. 1982. Calculating and interpreting forest fires Intensities. Can. J. Botany 60 : 348 - 357.
- Brown J. 1972. Field test of a rate of fire spread model in slash fuels. USDA Forest Service Research paper INT-116.
- Brown J. 2000. Introduction and fire regimes. Cap. 1, p1-7. En: J. Brown y J. Kapler-Smith: Wildland Fire in Ecosystems: Effects of fire on flora. USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station GTR RMRS GTR 42, Vol. 2. 257 p.
- Countryman M. 1971. Firewhirls : why, when an where, USDA Forest Service. Washington, DC.
- Dimitrakopoulos A. y P. Panov. 2001. Pyric properties of some dominant Mediterranean vegetation species. International Journal of Wildland Fire 10: 23-27.
- Elvira Martín C. y C. Hernando Lara. 1989. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Inst. Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid.
- Fonda R., L. Belanguer y L. Burley. 1998. Burning characteristics of western conifer needles. Northwest 72: 1-9.
- Green L. 1981. Burning by prescription in chaparral. USDA Forest Service GTR PSW-51.
- Heinemann A. G. 1993. Física: mecánica, fluidos, calor. Ed. Estrada, Buenos Aires.
- Johnson E. y K. Miyanishi. 1995. The need for onsideration of fire behavior and effects in prescribed burning. Restoration Ecology 3: 271-278.
- Johnson V. 1982. The dilemma of flame lenght and intensity. Fire Management Notes. -
- Kaloustian J., A. Pauli y J. Pastor. 1998. Inflammability of *Pinus halepensis*. Acta bot. Gallica 145: 307-313.
- McRae D. y M. Flanigan. 1990. Development of large vortices in prescribed fires. Can. J. For. Res. 20: 1878 - 1887.
- Rodríguez N. 1997. Fuego y sitio forestal. Cap. 3 p 20-27. En: C. Kunst y N. Rodríguez. Fuego prescripto en plantaciones de pino. Proyecto Forestal de Desarrollo, Sec. de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Buenos Aires.
- Rothermel R. 1984. Fire behavior considerations of aerial Ignition. p. 142 - 158, In: T. Mutch (ed). Proc. Prescribed Fire by Aerial Ignition, Intermountain Fire Council, Missoula, Montana.
- Rothermel R. y J. Deeming. 1980. Measuring and interpreting fire behavior for correlations with fire effects. U. S. D. A.- F. S. GTR - INT 93.
- Rothermel, R. C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. General Technical Report INT-143. United States Department of Agriculture. Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Utah. USA. 161 pp.
- Ryan K. y Noste N. 1985. Evaluating prescribed fires. pages 230-238. In: J. Lotan, B. Kilgore, W. Fischer y R. Mutch (eds.) Proceedings of the Symposium and Workshop on Wilderness Fire. Intermountain Forest and Range Exp. Station, Missoula, Montana, GTR INT-182.
- Ryan K. 1981. Evaluation of a passive flame height sensor to estimate forest fire intensity. USDA Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Exp. Station, Research Note PNW 90.
- Ryan K. 1990. Predicting prescribed fire effects in the interior West. p. 148-162. En: M. E. Alexander y G. Bisgrove (Ed.): The art and science of fire management. Forestry Canada, Information Report NOR-X-309.
- Trollope W. 1984. Fire behaviour, Cap. 9, p. 199-217. En: P. de Booyesen y N. Tainton (eds): Ecological effects of fire in South African ecosystems. Springer Verlag, Berlin - N. Y.
- Trollope W. 1991. Fire behavior and its significance in burning as veld management practice. Prestige Farmers Day. Waterberg Plateaux Nat. Park. Namibia. Grass. Soc. of Southern Africa.
- Wade D. 1986. Linking fire behavior to its effects on living plant tissue. p. 112-116. Soc. Proc. American Foresters National Convention, Birmingham, Al. USA.
- Wade D. y J. D. Lunsford. 1988. A guide for prescribed fire in southern forest. USDA Forest Service, Southern Region R8 - TP11.
- Wright H. y A. Bailey. 1982. Fire Ecology. J. Wiley & Sons. N. Y.

Capítulo 18

Fuego prescripto

Carlos Kunst¹ y Norberto Rodríguez²



La seguridad es un aspecto esencial en el fuego prescripto. Foto: C. Kunst

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Est. Experimental Agropecuaria Santiago del Estero. e-mail: ckunst@correo.inta.gov.ar

² Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, e-mail: norberto@ciefat.cyt.ar

I. Concepto de fuego prescripto

El hombre emplea el fuego como herramienta para producir cambios en el ecosistema desde tiempos inmemoriales (Schüle, 1990). El reconocimiento del fuego como un factor ecológico facilitó el desarrollo de la investigación sobre su aplicación, manejo y efectos en distintos ambientes, afianzándose así su empleo con objetivos agronómicos, forestales y de conservación. Surgió así el concepto de 'fuego prescripto' (Wright y Bailey, 1982, Defossé, 1996).

Un fuego prescripto puede definirse como fuego aplicado de una manera conocida, por personal calificado, a cualquier tipo de combustibles (finos, gruesos, etc.) en un área específica, bajo condiciones climáticas seleccionadas, a fin de lograr objetivos de manejo predeterminados y bien definidos, quedando el fuego confinado al área tratada. Todas estas acciones deben realizarse en un marco de seguridad (Green, 1981, McRae, 1985, Wade y Lunsford, 1988, Weber y Taylor 1992).

La práctica de fuego prescripto es una ciencia y un arte: *ciencia* porque emplea conocimientos de climatología, física, química, etc. que proporcionan las bases para un apropiado manejo del fuego y permiten la aplicación de sus principios en forma amplia a través de distintos escenarios y situaciones; y *arte* porque existen variaciones de vegetación, clima y comportamiento de fuego que no permiten una cuantificación precisa (Ryan, 1990). La persona que emplea el fuego prescripto ha aprendido a conocer y manejar los efectos producidos por el fuego, lo que realiza variando la oportunidad, la frecuencia y la intensidad del mismo (Wade y Lunsford, 1988, Trollope, 1984).

El objetivo de este capítulo es desarrollar distintos aspectos relacionados con los fuegos prescriptos: sus objetivos, el protocolo de prescripción y su diseño; la planificación de la quema prescripta y por último, presentar dos aspectos asociados, las técnicas de ignición y el manejo del humo.

1. Experiencia en fuego prescripto

La decisión de emplear el fuego prescripto implica conocer sus efectos positivos y negativos, que se clasifican como de primer, segundo y tercer orden; es decir que suceden en segundos, días, meses y años después del fuego, respectivamente (Reinhardt et al., 2001). La información se genera a partir de la experiencia, ob-

servaciones y ensayos científicos a nivel mundial y nacional: estas fuentes deben consultarse en forma previa a la decisión de cualquier quema prescripta.

1.1 A nivel mundial

Los países donde más se ha desarrollado el estudio del fuego en ecosistemas naturales son Estados Unidos, Canadá, Australia y Sud-Africa. En los tres primeros países, se evolucionó inicialmente buscando la forma de predecir y controlar incendios forestales en coníferas (*Pinus*, *Sequoia*, etc.) y *Eucaliptus*, para luego ampliar la visión al fuego prescripto. Existe por otra parte una importante cantidad de información en quema de sabanas y pastizales de zonas subhúmedas y semiáridas. En Sudáfrica la experiencia cubre ecosistemas naturales y agroecosistemas.

En Europa, Francia se destaca por poseer la mayor experiencia en la investigación en fuego, debido a que la vegetación mediterránea tipo maquis está sujeta a incendios de gran intensidad y severidad, pero tecnología y conocimiento existen también en Grecia, Israel y España.

En Sudamérica, se distingue Brasil con experiencias en ecosistemas naturales y en plantaciones forestales comerciales. También existe información sobre el fuego como factor ecológico en Venezuela.

Revisiones sobre el tema ecología de fuego y empleo del fuego prescripto son las producidas por Wright y Bailey (1982); y Brown y Kapler Smith (2000) para Estados Unidos, Booysen y Taynton (1984) para Sudafrica y Goldammer (1990) para el resto del mundo. En Australia, el texto clásico es Gill, Groves y Noble (1981). Otra fuente importante de información sobre fuego con énfasis en ambientes forestales ha sido producida por Chandler et al., (1991).

1.2 En la Argentina

El fuego fue usado desde siempre en la Argentina (ver Cap. 1). De manera similar a otros países, inicialmente prevaleció el concepto negativo del fuego debido a sus efectos sobre bosques y pasturas (Rothkugel, 1913, Gez, 1939, Tortorelli, 1947, Castellanos y Papara, 1956). Esta situación fue cambiando con el tiempo: ya Papadakis (1951) propuso su uso en manejo de pasturas naturales para la región chaqueña, siendo el fuego reconocido formalmente como factor ecológico para la misma por Morello y Saravia Toledo (1959). En las décadas posteriores esta visión se amplía a otras regiones del país, analizándose los efectos del fuego en el pastizal y bosque pampeanos (Braun y Fignini 1974, Lamberto y Braun 1974), para luego avanzar en su uso y manejo en otros ecosistemas (Lutz y

Graff, 1980, Digiuni, 1980, Frangi et al., 1980). Se han realizado también reuniones técnicas y simposios: las más destacadas se han realizado en La Pampa, Santiago del Estero y Córdoba (UNLPam 1990, Kunst et al., 1993 y 1996, AAPN 2001). Los últimos avances en la investigación en la ecología y uso de fuego en nuestro país se encuentran desarrollados en este volumen.

2. Objetivos de los fuegos prescriptos

Existen distintos objetivos para los fuegos prescriptos, que responden a finalidades agronómicas, forestales y relacionadas a la conservación del ecosistema (Martin y Dell 1978, Green 1981, Wright y Bailey 1982, McRae 1985, Anónimo. 1985, Bunting et al. 1987, Kilgore y Curtis 1987, Wade y Lunsford 1988, Van Lear y Waldrop, Trollope 1991 a y b, Weber y Taylor 1992, Chandler et al. 1991):

Finalidad agronómica y forestal:

- Reducción de combustibles en bosques naturales y artificiales- especialmente el combustible fino- a fin de minimizar incendios y/o reducir la velocidad de propagación de los mismos, facilitando su rápido control.
- Controlar algunas enfermedades y plagas.
- Eliminar residuos de explotación forestal y preparar una cama apropiada de siembra.
- Preparar sitios para la implantación de especies forestales y forrajeras.
- Controlar vegetación competitiva, por ej.: mantener un balance adecuado entre pastos y leñosas.
- Facilitar la accesibilidad de forraje y el tránsito de personal y animales.
- Remover material no palatable o poco nutritivo y obtener uno de mayor calidad (es decir 'crear' forraje o alimento).
- Mantener y mejorar la condición del pastizal, al cambiar la composición botánica.

Finalidad manejo y conservación del ecosistema:

- Mejorar hábitat de fauna, aumentando la oferta de alimento y variando la cobertura.
- Mejorar el aspecto estético.
- Mantener especies dependientes del fuego.
- Acelerar el ciclo de nutrientes: por ej. causar una rápida mineralización de la materia orgánica (MO).
- Reiniciar la sucesión vegetal, es decir volver a sus seres (etapas) iniciales, a fin de crear un mosaico de comunidades vegetales.
- Control del sotobosque.
- Favorecer la regeneración de especies (ej. pino)

Muchos de estas finalidades pueden ser alcanzadas en una sola quema. La enunciación de objetivos en el "Plan de Fuego (o Quema) Prescripta" debe ser más específica y explícita. Los objetivos de una quema prescripta deben ser realistas y accesibles, poseer una probabilidad razonable de ser alcanzados, estar enmarcados en un período de tiempo y contener un elemento mensurable (por ej., producción de forraje) que permita evaluar el éxito alcanzado en forma fehaciente (Green, 1981, Wright y Bailey, 1982, Bunting et al., 1987). Es necesario repetir que los objetivos de una quema están directamente relacionados con los efectos del fuego, por lo tanto para fijarlos se debe poseer un buen conocimiento de los estos últimos.

3. El protocolo de prescripción y los objetivos del fuego prescripto

Una vez que las razones para emplear el fuego prescripto están perfectamente enunciadas, el paso siguiente es el planteo por escrito del protocolo de prescripción o 'Plan de quema prescripta'. Esta es una guía que indica el objetivo a lograr con el fuego; la cantidad y características de combustible, el estado fisiológico y/o fenológico de la vegetación y la fauna; y la magnitud de los factores que influyen el fuego a fin de lograr que su comportamiento sea compatible con los objetivos fijados. Como "comportamiento del fuego" se entiende la liberación de energía (E) durante la combustión (Trollope 1991a y b). Una discusión introductoria sobre el comportamiento del fuego y los factores que lo influyen puede leerse en otro capítulo de este libro.

3.1 Diseño de una prescripción.

Como ya se expresó, la información necesaria para el desarrollo de una prescripción es obtenida a través de la investigación y de la experiencia. En general, en quemas no prescriptas, la fijación de objetivos, el conocimiento del estado deseable de los combustibles y de otros componentes del ecosistema a quemar y la planificación es nula. Así, por ej., la selección de las condiciones climáticas o del día más apropiado es vaga o confusa.

Diseñar prescripciones empleando un proceso lógico es clave para lograr los objetivos deseados y asegurar que los fuegos se mantengan bajo control (Brown 1984). Esencialmente las pre-

guntas a responder para el diseño de una quema prescrita son (Moscovich 1996):

- ¿Por qué quemar ?
- ¿Qué quemar ?
- ¿Dónde quemar ?
- ¿Cuándo quemar ?

Los pasos para un diseño de una prescripción son los siguientes (Fig. 1):

1. Fijar una finalidad u objetivo general del potrero o sector a quemar. (ej. control de leñosas, modificar el hábitat de fauna), etc. Este objetivo debe estar enmarcado dentro de los objetivos de la empresa o institución que va a ser responsable de la quema prescrita y pueden ser de tipo agronómico-forestal (ej. control de leñosas para favorecer el tránsito de animales, proteger los recursos) o conservacionista (ej. modificación del hábitat de fauna.) El estado del potrero o sector luego del fuego es elemento muy importante a tener en cuenta en esta etapa.

2. Los objetivos específicos del fuego deben definirse luego de fijados los objetivos anteriores. Para precisarlos, es necesario conocer los efectos del fuego en el ecosistema a tratar. Las limitantes para alcanzar los objetivos del fuego también deben considerarse, como por ej. su facilidad de propagación. Por ej., dentro del objetivo general 'protección de las plantación forestal', el objetivo específico del fuego prescrito puede ser 'reducir un 50 % del combustible fino en plantaciones forestales de pino mayores de 10 años'.

3. La información técnica existente sobre cantidad y tipo de combustibles, comportamiento del fuego y sus efectos debe ser consultada o ser generados para diseñar la prescripción y así terminar así definir objetivos y limitantes, especialmente las de tipo ecológico. Se debe tener en cuenta que para que el fuego sea exitoso, la prescripción debe aplicarse en el momento fenológico y/o climático apropiado. Este libro, a través de sus distintos capítulos, presenta información de gran valor para el diseño de una prescripción adecuada. Las limitantes pueden obligar a rediseñar el protocolo de prescripción.

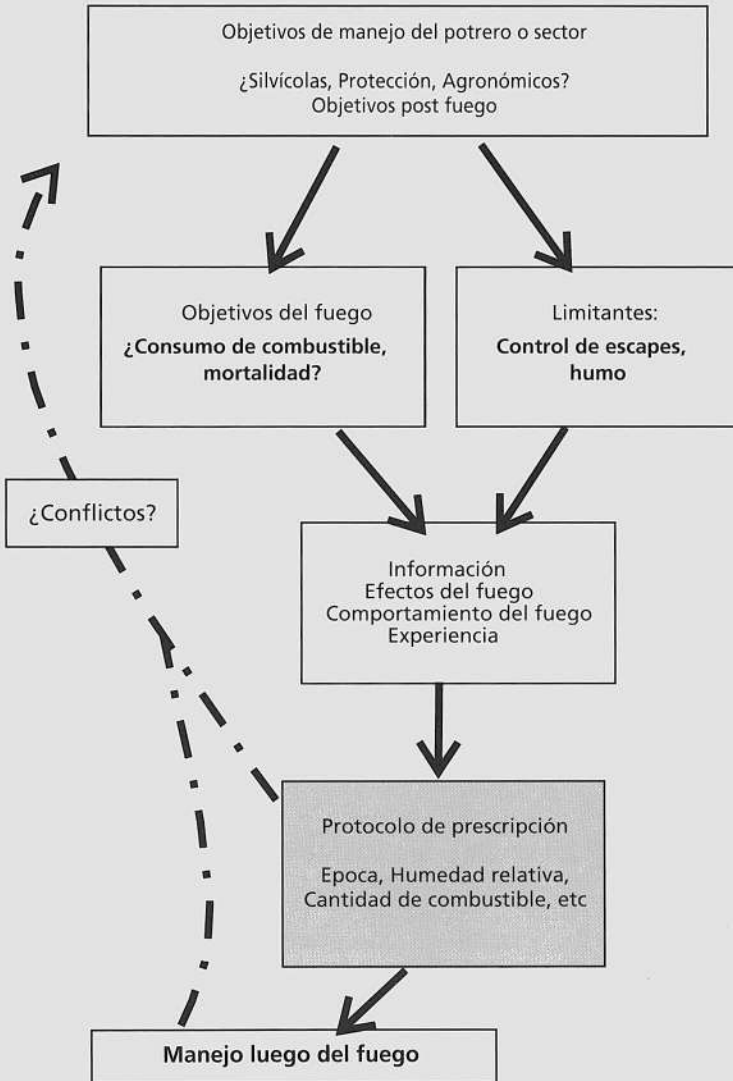


Figura 1. Flujo de información necesario para el diseño de una prescripción (adaptado de Brown 1984).

La cantidad de combustible por ha puede estimarse por el método de Brown (1982), presentado en detalle en otro capítulo de este libro. La carga de combustibles finos puede estimarse mediante corte y pesada de muestras de superficie conocida. Existen métodos sofisticados para estimar el comportamiento del fuego, tal como el programa BEHAVE (Brown 1984). En la práctica, para un modelo de combustible específico, la magnitud de los tres factores más importantes que influyen el comportamiento del fuego (temperatura y humedad relativa del aire y velocidad del viento) delimitan una 'ventana de prescripción', generando un determinado comportamiento de acuerdo a las circunstancias. Estos tres factores son también elementos del clima: el éxito de un fuego prescrito está ligado directa-

mente a un conocimiento profundo del mismo y su dinámica. Existe un "clima de fuego", que se define como el estado de la atmósfera definido por los elementos del clima y que rodea al lugar donde se va efectuar la quema prescrita hasta una distancia que afecte el comportamiento del fuego (Green 1981). A fin de conocerlo en detalle, se debe poseer un pronóstico general, uno local y tomar datos en el lugar antes, durante y después de la quema prescrita (Wade y Lunsford 1988). Algunos de los elementos del clima pueden estar "fuera de prescripción", siempre que estén balanceados por otros (Wade y Lunsford 1988). Para un análisis detallado del comportamiento del fuego, ver el capítulo correspondiente.

II. Implementación de la quema prescrita

1. Planificación

El primer paso es realizar una recorrida de la zona donde se piensa aplicar fuego prescripto, a realizarse por lo menos un año antes de su empleo. Los tratamientos anteriores y también alternativos a la quema, incluidos mecánicos y químicos, deben ser considerados en detalle.

Si no existe experiencia previa con fuegos prescriptos en un ecosistema es necesario realizar pruebas en parcelas de pequeñas dimensiones (no mayor de 30 m. x 30 m) para obtener datos orientativos del comportamiento del fuego en los distintos combustibles. Durante el desarrollo de estos ensayos se registrarán datos de intensidad del fuego, velocidad de avance, comportamiento de los combustibles, cantidad y calidad de combustibles, efectos posteriores del fuego sobre la vegetación, el suelo y la fauna, condiciones climáticas durante la quema, y comportamiento del fuego con diferentes técnicas de ignición. Estos ensayos deben realizarse por lo menos en tres épocas diferentes teniendo en cuenta las condiciones climáticas reinantes y/o la condición del combustible y repetirse como mínimo tres años antes de emplear el fuego a gran escala. La primera prueba debe realizarse en un período de alta humedad relativa del aire para trabajar con seguridad, para luego ir probando gradualmente en condiciones climáticas más difíciles. Residentes locales pueden informar sobre el comportamiento de fuegos accidentales en la zona y proveer algún dato sobre la conducta de los combustibles dominantes en el área. La construcción de un climodiagrama (Walter, 1971) puede ser una herramienta esencial para planificar la época de quema.

Los aspectos de seguridad (prevención y manejo de escapes) deben estar bien detallados durante el proceso de planificación. En

quema de pasturas se debe dejar descansar el potrero durante una estación de crecimiento a fin de garantizar la cantidad, calidad y continuidad del combustible fino.

Los ensayos pueden emplearse como entrenamiento al personal técnico y de campo, ya que la experiencia es la mejor manera de aprender sobre el comportamiento del fuego y sus efectos. Antes de la implementación de una quema prescrita en una zona donde se carezca de experiencia, es recomendable observar la conducción de fuegos prescriptos realizados por otras personas. Los puntos más importantes a observar son :

- 1) Organización y eficiencia.
- 2) Coordinación y comunicación entre herramientas de ignición
- 3) Patrón de ignición.
- 4) Número de personas y sus asignaciones.
- 5) Ubicación de la bomba de agua.

Las condiciones climáticas en las que NO se deberían realizar quemas prescriptas son las siguientes (McPherson *et al.*, 1987):

- a) ráfagas de viento mayores a 30 Km/h.
- b) humedad relativa del aire menor al 20%
- c) temperatura del aire mayor a 26 – 27 °C.
- d) paso de un frente frío antes de 12 hs.

Es esencial dejar que el clima 'queme' por uno y no pretender forzar situaciones extremas (Wright y Bailey 1982).

En toda quema prescrita debe existir un "jefe de quema", persona responsable y con suficiente experiencia en determinar el tipo de ignición a utilizar para poder cumplir con los objetivos, cuando iniciar las tareas de ignición y cuando suprimirlas. Si las condiciones climáticas no son satisfactorias el fuego no se inicia, o la salida no se realiza.

2. Implementación de la quema prescrita propiamente dicha

La quema prescrita se divide generalmente en dos partes:

- Quema de cortafuegos
- Quema final.

2.1 Quema de cortafuegos.

El cortafuego es un área que carece de capacidad para conducir fuego. Rodea al área objetivo y se lo emplea para mantener el fuego dentro de la misma, limitando su avance hacia sectores que no deben recibir el tratamiento. Caminos, peladares, arroyos, etc. pueden ser empleados como cortafuegos; pero si no existen, se deben construir. Los cortafuegos son esenciales: ninguna quema prescrita debe intentarse sin ellos (Figura 2).



Figura 2. (a) Construyendo cortafuegos con el fuego mismo. (b) El peligro de no poseer buenos cortafuegos (c) Finalizando la construcción de cortafuegos: observar las calles de apoyo que aíslan el fuego.

El ancho adecuado de cortafuegos es variable: para ciertas técnicas de ignición, como la de franjas, solo 3 – 4 m son necesarios para manejar el fuego; pero en fuegos frontales se requiere un mínimo de 30 m para combustibles no volátiles, hasta casi 150 – 200 m en áreas con combustibles muy volátiles o peligrosos. Las calles cortafuego deben ser realizadas con bas-

tante anticipación por equipo apropiado en cada circunstancia.

En la construcción de los cortafuegos es recomendable dejar el suelo bien limpio para eliminar “puentes” de combustibles que puedan originar escapes de fuego. El equipo necesario para esta tarea varía con la topografía y la vegetación del lugar. Un tractor con rastra de discos es suficiente cuando trabajamos en terrenos llanos y sin piedras, en el caso de topografías accidentadas y con afloramientos rocosos se hacen necesarios equipos más pesados como por ej. topadoras. La maquinaria pesada también es utilizada para el control de posibles escapes de fuego mientras se realiza la quema. Los cortafuegos pueden construirse con fuego mismo, ‘apoyándose’ en calles o picadas de ancho no mayor a 3-4 m y empleando la siguiente prescripción (Figura 2):

- 1) temperatura entre 4 a 15 °C.
- 2) humedad relativa 40 – 60 %.
- 3) velocidad del viento 0 – 15 Km/h.

El sistema de ignición más comúnmente empleado en la quema de cortafuegos es el de fuego en franjas (ver párrafos siguientes). El número de personas requeridas dependen del tipo y ancho de los cortafuegos: en combustibles poco volátiles 5 personas es suficiente. Un jefe de fuego, 2 hombres en el equipo de control, y 5 personas en la ignición pueden quemar, aproximadamente, un cortafuego de 5 Km. de largo por 30 m. de ancho en 4 hs. Se debe tener en cuenta que más personal y tiempo puede ser necesario para la quema de cortafuegos de ancho > 30 m.

Una buena comunicación es esencial para una quema de cortafuegos efectiva y segura.

2.2 Quema final

De acuerdo a los objetivos de la quema prescrita, el jefe de fuego selecciona el día y el momento de quemar. Durante el fuego, el jefe coordina la secuencia de ignición, monitorea las condiciones ambientales y toma la decisión de reordenar la quema de acuerdo al comportamiento del fuego. Un patrón de ignición seleccionado en forma previa a la quema puede ser alterado por cambios en las condiciones ambientales. Por ejemplo, cambios en la dirección del viento es un indicativo de cambio en el patrón de ignición. La solución a estos problemas es una buena comunicación entre el personal encargado de la ignición.

El número de personas requeridas dependen de cada situación particular y las características del combustible, tamaño de parcela, y la experiencia personal. El personal que trabajará se divide en dos grupos: seguridad e ignición.

El equipo de seguridad o control es el responsable del patrullaje a sotavento del fuego observando posibles escapes e intervenir activamente para su apagado. Se requiere un mínimo de 1 a 4 personas para una quema de 500 has o menos (Moscovich 1996). La responsabilidad principal del equipo de ignición es la quema propiamente dicha bajo la supervisión y dirección del jefe de fuego y colaborar en la extinción de escapes de ser necesario.

Una prescripción general orientativa para quemas finales son las siguientes :

- 1) temperatura del aire entre 20 - 25 °C.
- 2) humedad relativa del aire 25 - 40 %.
- 3) velocidad del viento < 30 Km/h.

Una vez concluida la quema es recomendable realizar un patrullaje por toda la zona de quema en busca de material que esté quemando muy cerca de los cortafuegos. Este material que se quema es recomendable alejarlo por lo menos 15 m. adentro de las líneas de cortafuego.

2.3 Equipo necesario

El equipo básico requerido para realizar una quema prescrita es el siguiente :

- 1) Bomba de agua.
- 2) Equipo meteorológico de campaña.
- 3) Antorchas.
- 4) Rastrillos, guantes, botas y guardamontes.
- 5) Radios de mano para comunicación.
- 6) Equipo pesado para la preparación de las calles cortafuego y la supresión de escapes.

Una bomba de agua es esencial debido a que el agua es el mejor método de enfriamiento y control de escapes de fuego. Los tipos de bombas varían con la cantidad de agua trasladada y con el vehículo empleado, pero algunas especificaciones orientativas son las siguientes:

- 1) Capacidad mínima de 400 lts.
- 2) Alcance mínimo de la manguera 15 m.
- 3) Boquilla de mango ajustable.

La bomba debe ser trasladada en vehículos Pick - up, preferentemente 4 x 4 todo terreno.

El equipo meteorológico de campaña requerido es el siguiente :

- 1) Psicrómetro (temperatura y humedad relativa).
- 2) Anemómetro.
- 3) Planillas y lápices.
- 4) Brújula.

El fuego es influenciado por las condiciones meteorológicas imperantes que pueden producir cambios en el comportamiento del fuego, por ello es necesario monitorear permanentemente posibles cambios en la temperatura, humedad relativa, y la velocidad y dirección del viento durante toda la etapa de quema, in situ.. La velocidad del viento afecta el comportamiento del fuego en forma inmediata, cambios en la humedad relativo no afectan el contenido de humedad del combustible hasta aproximadamente 1/2 hora de producido. Por esto, las condiciones ambientales deberán ser medidas aproximadamente cada 1/2 hora.

El elemento más común utilizado para la ignición es la antorcha de goteo (Fig.), que consiste en una garrafa de aluminio con pico y mechero. La mezcla de combustible que usan las antorchas está formado por una mezcla de 60% de gasoil y un 40% de nafta común (Fig. 3). Las técnicas de ignición aérea incluyen el uso de un helicóptero ('helitorch') que lleva colgando una gran antorcha de goteo, o arrojando unas pequeñas bombas tipo "Napalm". Estas técnicas requieren de un entrenamiento especial y no van a ser tratadas en el presente Capítulo. No obstante, quemas de más de 1.500 has. con topografía quebrada son aptas al uso de igniciones aéreas.



Figura 3. Antorchas empleadas para la quema prescrita

Las herramientas de mano son necesarias para la remoción de algún remanente de combustible y el apagado de pequeños focos de fuego. Las herramientas mas comunes son rastrillos, palas y hachas. El uso de estas herramientas sumado a la utilización de la bomba de agua son muy efectivas para la supresión del fuego.

La comunicación es esencial durante el desarrollo de un fuego prescripto. Cuando las distancias entre el personal son largas para hacer efectivo el uso de la voz se recomienda el uso de radios de mano.

Es recomendable que las actividades de quema no demanden un trabajo de más de 4 – 5 hs. por jornada para evitar el agotamiento del personal y las posibilidades de incurrir en errores que puedan ocasionar daños y/o lesiones a los empleados. Se aconseja llevar una buena

provisión de agua potable para que pueda beber el personal de trabajo; se estima como una buena cantidad de 2 a 3 lts./persona.

Una lista de los distintos elementos a tener en cuenta en la quema prescrita se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Aspectos a tener en cuenta para una quema prescrita.

I. Consideraciones anteriores a la quema.

A. Razones para la quema (1 a 5 años antes)

- 1.- Propósito.
- 2.- Lugar (Identificación del combustible).
- 3. Clima y tiempo atmosférico.
- 4. Cuando quemar (plan de quema preliminar incluido los cortafuegos)
- 5. Tratamientos prequema establecidos en tiempo y forma (mecánicos, químicos, etc.)
- 6. Aspectos legales
- 7. Entrenamiento y experiencia.

B. Planificación de la quema (6 meses a 1 año antes)

- 1. Determinación y localización de forrajes alternativos para el ganado
- 2. Tiempo requerido para sacar el ganado de la zona de quema
- 3. Consideraciones de vulnerabilidad: erosión, habitat de fauna silvestre
- 4. Preparación del plan de fuego final
- 5. Estudios de costos de la quema

C. Preparación del equipo (3 a 6 meses antes)

- 1. Contratación de equipo (tractores, topadoras)
- 2. Ubicación de la bomba de agua
- 3. Comunicaciones (radios)
- 4. Datos sobre el equipo de trabajo completados

D. Personal (1 a 3 meses antes)

- 1. Jefe de fuego designado
- 2. Asignaciones al personal, y entrenamiento de ser necesario

E. Notificaciones (2 a 4 semanas antes)

- 1. Policía de la zona
- 2. Cuerpo de bomberos
- 3. Cazadores

F. Construcciones prequema y patrullaje

- 1. Construcción de cortafuegos de acuerdo al plan de fuego
- 2. Remoción de remanentes de combustible
- 3. Otros aspectos
 - a. – Alimento
 - b. – Lápices
 - c. – Postes líneas aéreas
 - d. – Estructuras de gas o combustibles
 - e. – Alambrados
 - f. – Elementos de corte
 - g. – Inspección de línea de cortafuego (30 días antes de la quema)

G. Información Meteorológica e Inspección Final (semana de la quema)

- 1. 3 días antes información del Servicio Meteorológico Nacional
- 2. 24 hs. antes información meteorológica local
- 3. Inspección final (calles cortafuego, elementos de protección, etc.)

Tabla 1. Aspectos a tener en cuenta para una quema prescrita (continuación).

II. En el Momento de la Quema

A. Avisos de Último momento

- 1. Servicio Meteorológico Nacional
- 2. Policía
- 3. Cuerpo de Bomberos

B. Equipo y Suministros

- 1. Combustible para las antorchas
- 2. Combustible para la bomba de agua
- 3. Retardante de fuego o agua en la bomba
- 4. Herramientas de mano (rastrillos, hachas, machete, etc.)
- 5. Fósforos
- 6. Cámara fotográfica
- 7. Instrumental meteorológico (velocidad de viento, humedad relativa, lápices, planillas de campo, etc.)
- 8. Radios

C. Apoyo para la Cuadrilla

- 1. Agua para beber y comida para el personal
- 2. Botiquín de primeros auxilios

III. Después de la Quema

A. Patrullaje del área después del fuego (inmediatamente después)

- 1. Tizones, troncos huecos y árboles cortados cerca de la quema
- 2. Alambrados y postes
- 3. Pilas de residuos
- 4. Acceso de ganado
- 5. Observaciones sobre el efecto de la quema

B. Control de pastura (1 año después de la quema)

- 1. Diferimiento de pasturas
- 2. Observaciones en la vegetación
- 3. Decisión de cargar nuevamente las pasturas con animales.

III. Técnicas de ignición

El diseño de ignición es un concepto íntimamente ligado a la quema prescrita. Las técnicas o diseños de ignición implican el empleo apropiado de los tipos básicos de fuego solos o en conjunto a fin de inducir un comportamiento particular del fuego. La técnica de ignición apropiada debe estar correlacionada con los objetivos, el combustible a quemar, la topografía y los aspectos climáticos a fin de prevenir escapes u otros comportamientos peligrosos (Wade y Lunsford, 1988).

A continuación se describirán las distintas técnicas de ignición existentes, el comportamiento del fuego en cada una de ellas, las características ambientales (clima y vegetación) necesarias para su implementación; sus ventajas y desventajas, y la mejor ocasión para su aplicación.

Los tres tipos "básicos" de fuego son: (a) frontal o a favor del viento, (b) en retroceso, también llamado "a contrapelo" o "en contra del viento"; y (c) los fuegos de flanco (Green 1981,

Wade, y Lunsford, 1988, Trollope, 1992). De acuerdo a estos tipos de fuego existen los siguientes técnicas de ignición (Green, 1981, Wade y Lunsford, 1988, De Ronde *et al.*, 1990):

- Fuego frontal.
- Fuego en retroceso.
- Fuego central o en flanco.
- En anillo o circular.
- En puntos.
- En franjas escalonadas.

Todos los fuegos tiene un origen básicamente puntual; aunque si los puntos de encendido son pequeños y continuos en el espacio, pueden integrarse formando un frente de fuego de dimensiones considerables.

Fuego frontal

El fuego frontal es el que avanza a favor del viento, y posee la máxima intensidad para una situación ambiental y ecosistema particulares. Presenta el mayor largo de llamas de todos los tipos de fuego, produciendo gran liberación de



energía debido a la cantidad de combustible que se quema en la unidad de tiempo, la convección y el precalentamiento del combustible ubicado frente de las llamas. Se estima una intensidad 15 veces mayor a un fuego en retroceso para las mismas circunstancias climáticas (Scifres, 1987, Fig. 4). Debido a estas características, el fuego frontal se emplea comúnmente en cualquier situación donde es necesario un fuego rápido e intenso, ej.: para controlar leñosas, eliminar residuos vegetales.

Un fuego frontal se implementa encendiendo una línea de fuego, continua o intermitente, a lo largo de un camino o picada empleada como base. La primera técnica de ignición (línea continua) produce un fuego mucho más intenso que cuando se enciende el frente a intervalos (De Ronde *et al.*, 1990).

Fuego en retroceso

El fuego en retroceso es el que avanza en contra del viento. Este tipo de fuego consume oxígeno más lentamente que el anterior, produciendo llamas de menor altura. El viento lleva el calor lejos del combustible, no existiendo precalentamiento (Fig. 5). El fuego en retroceso es el que posee menor intensidad y ejerce un efecto negativo mínimo en la vegetación, siendo la elección indicada cuando se necesita quemar por ej., bajo cobertura de coníferas. Sin embargo, al tener la fuente de liberación de E más cerca del suelo, su efecto sobre el mismo puede ser más importante que en el fuego frontal. Existe una contradicción en la literatura: se sugiere que debido al balance entre tiempo de residencia e intensidad, los fuegos frontales y en retroceso poseen aprox. una similar liberación de energía en el ecosistema. Este hecho no ha sido comprobado en la práctica.

Para implementar un fuego en retroceso, se enciende una línea continua a barvolento, a lo largo de un camino o picada base. Debido a la lentitud con que avanza este tipo de fuego – se estima en un $1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, independientemente de la velocidad del viento (De Ronde *et al.* 1990) – se trabaja en “bloques” de $100 \text{ m} \times 300 \text{ m}$, que se encienden a un mismo tiempo a fin de aumentar la eficiencia de trabajo. El fuego en retroceso no puede adaptarse a cambios de dirección del viento

Figura 4. Fuego frontal, a favor del viento (a) Comenzando el frente de fuego. (b) El frente avanza a favor del viento: observar la longitud de llama, indicador de intensidad. (c) y (d) Los fuegos frontales son empleados para controlar vegetación leñosa y arbustiva considerada indeseable para un objetivo específico, por ej., ganadero.

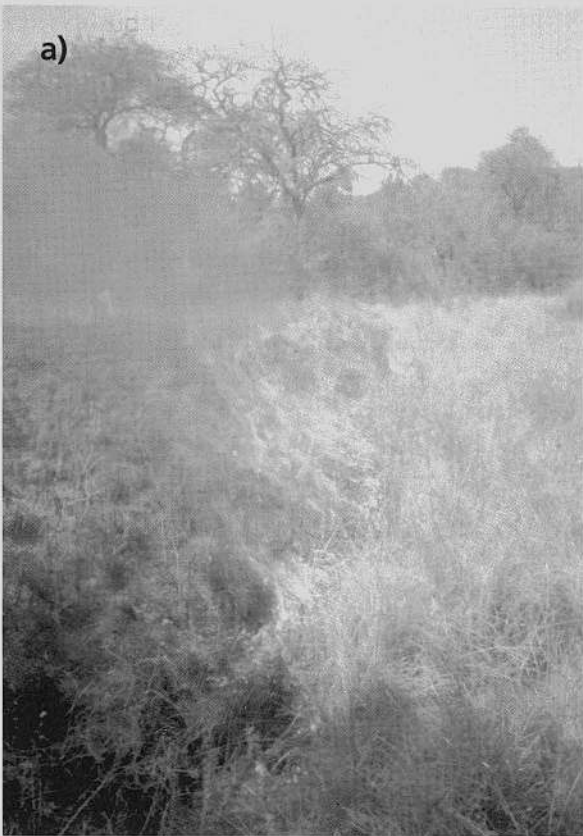


Figura 5. (a) Fuego en retroceso, en contra del viento. (b) fuego en retroceso en plantaciones de pino.

Anillo y fuego central

Estas dos técnicas están muy relacionadas y pueden considerarse como variantes. Para el 'anillo', el fuego se enciende en dos puntos sucesivos: (a) en el centro del área a quemar y (b) a lo largo del perímetro o periferia de la misma. El efecto buscado es que el fuego converja hacia el centro del sector: para que la convección creada por el fuego del centro atraiga las llamas hacia adentro del área objetivo (Figs 3a, 3b y 3c). El centro puede prenderse previamente, luego de asegurado el cortafuego, o directamente no prenderse. Las condiciones meteorológicas para la implementación de esta técnica dependen del tipo de combustibles a quemar.

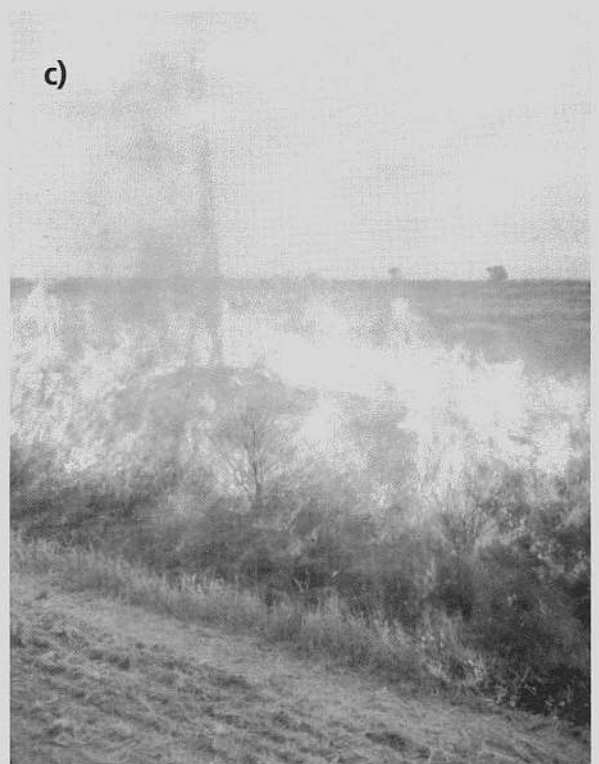


Figura 6. Fuego en anillo (a) Iniciando el anillado, (b) completando el círculo o anillo, (c) las llamas avanzan hacia el centro del sector a quemar, llevadas por la convección central.

Se emplea el encendido central con anillo en la periferia cuando el objetivo es eliminar grandes cantidades de combustible fino ($> 6000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, ej. pasto llorón, *Eragrostis curvula*) o restos de explotación forestal (leña chamiza, aserrín, etc.) a fin de facilitar tránsito, siembra y/o regeneración natural. Debe realizarse en una atmósfera calma o de vientos leves y variables, bajo cualquier temperatura y humedad relativa del aire, siempre que las mismas estén en prescripción. La superficie a quemar debe ser en general pequeña (menores a 40 ha). La topografía debe ser lo más plana posible.

La técnica de anillo sin encendido central es elegida tradicionalmente cuando se queman potreros con pasturas naturales y/o introducidas a fin de, por ej., controlar leñosas u obtener rebrote verde. Se quema primero en el sector de "barlovento" para luego continuar por un costado y quemar a sotavento, "anillando" el potrero (Scifres, 1987). Así, la construcción de un cortafuego ancho es obviada, y se bajan los costos. Es aconsejable usar este tipo de técnica en potreros con pastos de altura media (aprox. 40 – 50 cm. de altura) y/o con mediana cantidad de combustible fino ($3000 - 4000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). El problema esencial en esta variante es la formación de remolinos, cuyo origen es la violenta demanda de oxígeno que se produce cuando los dos frentes de fuego convergen: la fuerza de atracción puede extenderse a otras masas de aire cercanas, creándose remolinos, que aunque de corta vida e intensidad pueden lanzar pavesas hacia sectores que no deben quemarse. Hasta cierto punto, este aspecto puede manejarse teniendo en cuenta la distancia que se deja de avanzar el fuego en retroceso antes de iniciar el fuego frontal.

Ignición en "puntos"

Ignición "en puntos" consiste en encender focos de fuego separados entre sí por cierta distancia, que luego convergen cubriendo toda el área objetivo. Previamente se aconseja encender un fuego en retroceso a sotavento a fin de evitar escapes y dejarlo correr por lo menos 3 a 6 m antes de iniciar los puntos. El objetivo es crear fuegos de mayor intensidad que los fuegos en retroceso, pero menor que los fuegos frontales. Sincronización y distancia adecuado de los puntos de ignición es la clave para el éxito en la aplicación de esta técnica. Para evitar daño al fuste de árboles deseables, es necesario que los puntos individuales de cada "línea" converjan en sus puntos frontales y en retroceso antes de los flancos, evitando la formación de un frente de fuego continuo.

El distanciamiento apropiado está en 1 foco de ignición aprox. cada 40 x 40 m o 80 x 80 m. Se debe evitar encender al mismo tiempo un

gran número de puntos, debido a la gran convección y liberación de E en corto tiempo, lo que puede traer problemas de manejo y control del fuego.

Fuego en franjas

En esta técnica, una serie de franjas o "fajas" de fuego de ancho variable es encendida en forma gradual y sincronizada, tratando de manejar la intensidad a través del ancho de cada franja (Fig. 7). La técnica es muy adaptable a diversas circunstancias, desde quema de cortafuegos hasta potreros.

Suponiendo un ancho total de cortafuego de 30 m, la primera franja es encendida sobre la picada o camino arado empleado como base, con un ancho máximo de 40 – 50 cm. La parte frontal de esta línea se apaga rápidamente en la línea base o calle de apoyo, sin alcanzar intensidades peligrosas. Una vez que la primera franja tiene cierto largo y ancho, que también depende de las circunstancias, se inicia una nueva franja, de mas ancho que la primera, cuyo fuego frontal finaliza en el fuego en retroceso originado por la primera franja. El número total de franjas a encender varía, teniendo en cuenta que a mayor número de franjas para un determinado ancho, menor intensidad de fuego. Se deben "leer" los cambios en cantidad y cobertura de combustible, adecuando el ancho de la (s) franja (s) de acuerdo a los mismos.

Esta técnica es ideal para quemar cortafuegos largos, y puede aplicarse con cualquier condición meteorológica. El viento debe ser de "costado", con velocidad y dirección constantes; y el resto de las variables meteorológicas estar dentro de la prescripción.

Para la quema de superficies mayores, el ancho de la (s) franja (s) puede ser mayor, sugiriéndose para quema de sotobosque en plantaciones de coníferas un ancho de 20 a 60 m. La velocidad del viento debe estar entre 1,5 – 3 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Se debe tener en cuenta que cuando dos frentes de fuego convergen, pueden producirse situaciones peligrosas y/o daño al fuste de los árboles.

Fuego central y/o en flanco

Esta técnica consiste en encender fuegos en líneas paralelas a la dirección del viento. La intensidad de fuego resultante es intermedia entre un fuego frontal y uno en retroceso. En una variante de esta técnica, empleada para la quema de cortafuegos, las líneas centrales se adelantan un poco más que las ubicadas en los costados, a fin de crear una fuerte convección central que aleje el fuego de los costados, en donde puede ocurrir un escape. Para aplicar esta técnica, se necesitan poseer experiencia práctica de comportamiento del fuego.



Figura 7. Fuego en franjas: (a) y (b) iniciando la primera franja (c) y (d) Completando las franjas siguientes (e) una visión de la franjas durante la noche: observar el largo de llamas.

Quando se quiere minimizar el daño a los árboles, el fuego en retroceso es la técnica ideal para lograr un objetivo de limpieza, siendo también la más fácil de implementar, pero se debe tener en cuenta daños eventuales al suelo. Para controlar leñosas, se debe emplear el fuego frontal. A fin de aplicarlo sin problemas, los cortafuegos deben poseer ancho y largo apropiados: sin ellos, no es posible trabajar en forma segura. Las otras técnicas son intermedias entre estas. En cualquiera de los casos se debe poseer una experiencia previa en el manejo de fuego, herramientas y equipos adecuados de meteorología y control de fuego. Antes de

implementar cualquier quema prescrita debe recordarse el proverbio que dice "El fuego es un mal amo pero un buen sirviente", que enfatiza la seriedad con que deben encararse estos trabajos.

IV. Manejo del humo

El humo es un producto natural del fuego y es un agente que produce contaminación del aire. Su manejo es un aspecto importante de la práctica de fuego prescrito: a continuación se brindan algunos conceptos y sugerencias para reducir su aspectos negativos y/o molestias.

4.1 Producción de humo

Antes y después del pasaje de un frente de fuego se producen emisiones de distintas sustancias. La pirólisis provoca la descomposición por calor del tejido vegetal, liberando gases orgánicos y vapores calientes. Estos reaccionan con el oxígeno del aire, produciéndose las llamas. Esta rápida oxidación libera agua y dióxido de carbono. No todas las sustancias orgánicas liberadas se oxidan en forma total, generándose hidrocarburos de distinta complejidad. Estas moléculas orgánicas, de acuerdo a su peso, pueden ser arrastradas directamente por el viento, o condensarse en partículas, formando el "humo" (Fig. 8)



Figura 8. El humo: una desventaja de las quemas prescritas.

Luego del pasaje del frente de fuego, la combustión continúa en forma de brasa debido a que todas las sustancias volátiles han desaparecido. La temperatura del fuego disminuye, pero la emisión de sustancias y la generación de humo puede ser mayor aún que en la etapa de llamas.

La cantidad de humo producida depende de la eficiencia de combustión. A mayor contenido de humedad del combustible, menor eficiencia y mayor producción de sustancias orgánicas complejas.

4.2 Características de las sustancias emitidas.

Los principales productos resultantes de la combustión de combustibles vegetales son agua (formación de humo blanco) y dióxido de carbono que representan un 90% de las emisiones, a diferencia de los combustibles fósiles. El agua no es únicamente la contenida en el combustible, sino que se forma por la oxidación de los tejidos, ricos en oxígeno.

Otros productos, son :

- * Monóxido de carbono. Muy peligroso, generalmente en escasa cantidad.

- * Hidrocarburos varios.

- * Oxidos del nitrógeno, en función del contenido de éste último en los tejidos. Generalmente órganos secos poseen baja concentración de este elemento.

- * Oxidos de azufre, también en baja concentración.

- * Partículas de distinto tamaño. Estas partículas producen problemas de visibilidad y respiración.

En la etapa de llamas, las quemas de combustible fino (ej. pasturas) producen alrededor de 3 g de partículas por kg de combustible seco, mientras que en el combustible grueso (ej. arbustales) se generan 15 g.kg⁻¹ de combustibles. Durante la etapa de brasas, la emisión puede alcanzar a 30 gr.kg⁻¹.

4.3 Manejo el humo

Algunas sugerencias son las siguientes :

Previamente a la quema se debe considerar :

- * Areas sensitivas al humo (ej. pueblos, ciudades).

- * Topografía

- * Cercanía a caminos y rutas.

Posibles estrategias de control de humo.

- * Asegurar buena dispersión de la columna de convección quemando cuando la atmósfera está inestable.

- * Quemar con apropiada humedad del combustible.

- * Emplear fuegos en retroceso. En este tipo de fuego se consume más combustible en la etapa de llamas que en la de brasa.

- * Quemar áreas pequeñas por vez, evitar largas quemas en grandes superficies.

- * Tratar de no quemar de noche.

- * Poner en conocimiento a las autoridades, bomberos y vecinos.

4.5 Fuego, humo y efecto invernadero

Existen actualmente problemas con la capa de ozono producidos por el aumento de la concentración de CO₂ y otros gases en la atmósfera. Siendo esta sustancia uno de los principales

productos de los fuegos de vegetación tanto accidentales como prescritos, el público en general se pregunta si este tipo de prácticas no son, en el fondo, "antiecológicas".

El tema es complejo, y no se conoce completamente la historia climática del mundo ni tampoco el papel de los fuegos de vegetación en el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera. Tanto a nivel mundial como local, lo que importa es el balance final entre liberación de CO₂ y su fijación en el tejido vegetal por la fotosíntesis, que lo sustrae de la atmósfera. Los científicos reconocen que existe una frecuencia "natural" de fuegos en casi todos los ecosistemas, desde boreales hasta tropicales. El hom-

bre por diversas razones ha hecho uso del fuego desde tiempo inmemorial, y los distintos tipos de vegetación han evolucionado con el mismo como agente de disturbio. Se libera gas a la atmósfera, pero el nuevo tejido vegetal verde, activamente creciendo representa una sustracción de CO₂ de la atmósfera más que un aumento en su concentración.

Se reconoce, sin embargo, que fuegos accidentales de gran intensidad debido a la falta de manejo de combustibles gruesos, rozado de bosques debido a la presión de población, emisiones de combustibles fósiles, etc., producen un desbalance entre ganancias y pérdidas netas, siendo ellos las reales causas del efecto invernadero.

V. Bibliografía

- AAPN (Asociación Amigos de los Parques Nacionales 'Pto. Francisco P. Moreno', eds). 2001. Memorias del Congreso para la Prevención y Combate de Incendios Forestales y de Pastizales en el Mercosur. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Anónimo. 1985. A guide to prescribed burning in the Vancouver region. Province of British Columbia, Ministry of Forests.
- Anónimo. 1990. The Freiburg declaration on tropical fires. Appendix, pp. 487 – 489, 82 – 105. En: J. G. Goldammer, Fire in the tropical biota. Springer Verlag, Berlin.
- Booyesen P. de y N. Tainton (eds). 1984. Ecological effects of fire in South African ecosystems. Springer Verlag, Berlín.
- Braun R. y J. Figini. 1974. Aspectos pírnicos relacionados con el bosque pampeano. Ciencia e Investigación 30: 150-152.
- Brown J. y J. Kapler-Smith (eds). 2000. Wildland Fire in Ecosystems: Effects of fire on flora. U.S.D.A. Forest Service Rocky Mountain Research Station GTR RMRS GTR 42, Vol. 2. 257 p.
- Brown J. 1984. A process for designing fire prescriptions, pp. 17-27. En: Prescribed fire by aerial ignition. Workshop Proceedings. Intermountain Fire Council.
- Castellanos O. y A. Papara. 1956. Tablas de peligro del fuego. p. 143-176. Anales de la Dirección Nacional de Bosques. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección Nac. de Bosques.
- Chandler C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud y D. Williams. 1991. Fire in forestry. Vol. I y II. Krieger Pub. Co. Malabar, Florida.
- Cofer W., J. Levine, E. Winstead y B. Stocks. Gaseous emissions from canadian boreal forests fires. Ats. Environment 24 A : 1653 – 1659.
- Defossé G. 1996. Introducción a la Ecología de Fuego. Cap.1, pp. 1-8. En: C. Kunst y F. Moscovich. Fuego prescripto: Introducción a la Ecología de Fuego y Manejo de Fuego Prescripto. INTA-UNSE.
- Digiuni L. 1980. Métodos de desmonte y su impacto en el pastizal natural en el noroeste de Río Negro. Instituto para el Desarrollo del Valle Inferior del Río Negro (IDEVI) Serie Técnica N°11.
- Frangi J., M. Ronco, N. Sánchez, R. Vicari y G. Rovetta. 1980. Efectos del fuego sobre la composición y dinámica de la biomasa de un pastizal de la Sierra de la Ventana (Buenos Aires, Argentina) Darwiniana 22: 565-585.
- Gez J. 1939. Geografía de la provincia de San Luis. p. 226, Tomo III. S. A. Jacobo Peuser, Buenos Aires.
- Gill A., R. Groves y I. Noble. 1981. Fire and the Australian biota. Australian Academy of Sciences, Canberra, Australia.
- Goldammer J. (ed). 1990. Fire in the tropical biota. Springer Verlag, Berlin.
- Kilgore B. y G. Curtis. 1987. Guide to understory burning in ponderosa pine-larch-fir forests in the Intermountain west. U.S.D.A. Forest Service Intermountain Res. Station GTR INT 223.
- Kunst C. y F. Moscovich (ed.). 1996. Introducción a la ecología de fuego y manejo del fuego prescripto. INTA EEA Sgo del Estero y Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

- Kunst C., M. Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo (eds). 1993. Memoria del Seminario Taller 'Ecología y manejo del fuego en ecosistemas naturales y modificados'. INTA EEA Sgo del Estero, Argentina.
- Lamberto S. y R. Braun. 1974. Cambios en el estrato bajo de un monte natural inducido por incendios. *Ciencia e Investigación* 30: 327-334.
- Lutz E. y A. Graff. 1980. Efecto de la quema controlada sobre la pastura natural, en un monte de la región semiárida pampeana. *INTA. Rev. Investigaciones Agropecuarias* 15: 1-15.
- Martin R. y J. Dell. 1978. Planning for prescribed burning in the Inland Northwest. U.S.D.A. Forest Service. Pacific NW Forest and Range Exp. Station. GTR PNW 76.
- Mc Pherson G., G. A. Rasmussen, H. Wright y C. Britton, 1986. Getting started in prescribed burning. Texas Tech Univ., Range and Wildlife Dept., Manage. Note 9.
- Mc Mahon C. 1987. Characteristics of emissions from prescribed fires. Proc. Air quality regulations and smoke management workshop.
- Reinhardt, E.; Keane, R.; Brown, J. 2001. Modelling fire effects. *International Journal of Wildland Fire* 10:373-380.
- Ronde C. de, J. Goldammer, D. Wade y R. Soares. 1990. Prescribed fire in industrial pine plantations. Cap. 12, p. 216 - 272. En: J. Goldammer (Ed.): *Fire in the tropical biota*. Springer Verlag, Berlin. 497 p.
- Rothkugel M. 1913. Los incendios de los bosques patagónicos. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección General de Agricultura y Defensa Agrícola. Bol 3. Buenos Aires.
- Ryan K. 1990. Predicting prescribed fire effects in the interior West. p. 148-162. En: M. Alexander y G. Bisgrove (Ed.): *The art and science of fire management*. Forestry Canada, Information Report NOR-X-309.
- Schüle W. 1990. Landscapes and climate in Prehistory: interactions of wildlife, man and fire. Cap. 13, p. 273-315. En: J. Goldammer (ed.): *Fire in the tropical biota*. Springer Verlag, Berlin.
- Scifres C. 1987. Prescribed burning for brushland management...the south Texas example. inédito.
- Tortorelli L. 1947. Los incendios de bosques en la Argentina. Ministerio de Agricultura de la Nación, Dirección Forestal, Buenos Aires. 235 p.
- Trollope W. 1984. Fire in savanna. Cap. 7, p. 151-175. En: P. de Booyesen y N. Tainton (eds): *Ecological effects of fire in South African ecosystems*. Springer Verlag, Berlin - N. Y.
- Trollope W. 1991a. Control of bush encroachment with fire in the savanna areas fo South Africa. Prestige Farmers Day. Waterberg Plateaux Nat. Park. Namibia. Grass. Soc. of Southern Africa.
- Trollope W. 1991b. Fire behavior and its significance in burning as veld management practice. Prestige Farmers Day. Waterberg Plateaux Nat. Park. Namibia. Grass. Soc. of Southern Africa.
- UNLPam (Universidad Nacional de La Pampa, ed.). 1990. Jornadas pampeanas sobre pastizales naturales y uso del fuego. *Rev. Fac. de Agronomía-UNLPam* 5:1 -170.
- Van Lear D. y T. Waldrop. 1989. History, uses, and effects of fire in the Appalachians. U.S.D.A. Forest Service Southeastern Forest Exp. Station GTR SE 54.
- Wade D. y J. D. Lunsford. 1988. A guide for prescribed fire in southern forests. U.S.D.A. Forest Service, Southern Region R8 - TP11.
- Walter H. 1971. Ecology of tropical and subtropical vegetation. Oliver and Boyd, Edinburgh, Reino Unido.
- Ward D. y C. Hardy. 1991. Smoke emissions from wildland fires. *Env. International* 17 : 117 - 134.
- Wright H. y A. Bailey. 1982. Fire ecology in en United States and Canada. J. Wiley and Sons.

Cuantificación del material combustible

Norberto Rodríguez^{1, 2} y Miriam Muñoz³



Medición de carga de combustible mediano y grueso en una plantación de pino. Foto: C. Kunst

¹Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP). e-mail: norberto@ciefap.cyt.edu.ar

²Facultad de Ingeniería, Depto. de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco,.

³Plan Nacional de Manejo del Fuego. Tel/Fax 54-945-456126. manejoelfuego@ciudad.com.ar

1. Introducción

Toda planificación con relación al tema manejo del fuego debe considerar el conocimiento del material sobre el que se inicia y propaga el fuego, independientemente si éste es deseado (quema prescrita) o indeseado (incendio forestal, de pastizal y/o matorral).

Se define como combustible a todos aquellos materiales vegetales dispuestos en terrenos rurales susceptibles a la ignición, es decir, a través de los cuales es posible la iniciación y propagación del fuego en la naturaleza (Julio Alvear 1988). Los combustibles comprenden en la práctica una innumerable variedad de situaciones y combinaciones de materiales vegetales vivos y muertos conformando conglomerados.

Una definición clara, para tipo de combustible, es "la asociación identificable de elementos combustibles compuesta por diferentes especies, formas, tamaños, disposición y continuidad que harán exhibir al fuego determinadas características de comportamiento con determinadas condiciones de quema" (Merrill and Alexander 1987). Más precisamente se entiende por tipo de combustible al complejo de material lo suficientemente homogéneo y extendido sobre un área de suficiente tamaño en la que puede ser mantenido un determinado comportamiento del fuego durante un considerable período de tiempo (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992).

Esta definición nos lleva al concepto de "modelo", y ya Hornby en 1936 describió los modelos de combustible en forma muy simple como *unidades de medida para la evaluación de las asociaciones de vegetación respecto al potencial de propagación del fuego y a la resistencia al control*.

En general, los modelos de combustibles presentan un complejo de propiedades de variada índole que, dependiendo de las condiciones ambientales prevalientes en el desarrollo de un incendio, regulan el comportamiento del fuego influenciando fenómenos tales como la velocidad de propagación, la energía calórica liberada, las características de la columna de convección, la altura y efectos de las llamas, etc. (Davis 1959; Julio Alvear 1974; 1988).

Un modelo de combustible posee características o propiedades físicas tales como la distribución, continuidad, cantidad y grosor del material componente del mismo.

Cantidad: Es el peso del material vegetal en condición anhidro existente en el estrato superficial. Son también importantes el material subterráneo y aéreo que normalmente son consu-

midos en la propagación de un fuego. Se expresa en gr/cm^2 , aunque lo más común es en tn/ha . Es sumamente importante conocer la cantidad o carga de material combustible por su relación directa con la energía calórica que puede liberarse durante la propagación de un fuego.

Continuidad: Expresa el contacto entre partículas y hace referencia a la probabilidad de transferencia de la energía calórica, y por consiguiente de la propagación del fuego. La continuidad se caracteriza por los estratos en que está dispuesto el material. Para el estrato horizontal son el plano aéreo, superficial y subterráneo, siendo los dos primeros importantes ya que en el estrato vertical actúan como responsables del coronamiento de árboles e incendios de copas.

Distribución: Hace referencia a la disposición u ordenamiento de los diferentes materiales, que pueden distribuirse de manera homogénea o heterogénea. Mientras más homogénea se presente la distribución del material, hay mayor facilidad de pronosticar el comportamiento y propagación del fuego.

Densidad: Se refiere a la proximidad entre las partículas combustibles y la facilidad para la circulación del oxígeno (Julio Alvear 1975). Mientras más compacto se dispongan los materiales vegetales, menor será la aceleración de la combustión. Esta característica es especialmente aplicable a la acumulación de material muerto sobre el suelo.

Es importante conocer también la condición y el tiempo de retardo de los combustibles, si bien estos no se pueden considerar como características propias de los mismos.

Condición: Es la facilidad de entrar en ignición y está principalmente en función del contenido de humedad en el caso de los combustibles muertos, y al estado fisiológico en los combustibles vivos. En este último caso, el máximo contenido de humedad se alcanza durante la primavera para ir disminuyendo a lo largo del verano y llegar a un valor mínimo en el invierno. Este aspecto puede acelerarse al acortarse los tiempos de retardo como resultado de situaciones de sequía.

Tiempo de retardo: Mediante este concepto el material combustible es clasificado según su capacidad de intercambiar humedad (ganar o perder agua) hasta lograr equilibrarse con el ambiente que lo rodea. Para el Servicio Forestal de los Estados Unidos los tiempos establecidos son 1, 10 y 100 horas, magnitudes en relación con el diámetro de los combustibles: los materiales hasta 0,5 cm de diámetro pertenecen a los de 1 hora, aquellos entre 0,6-2,5 cm pertenecen a 10 horas, y los comprendidos entre 2,51-7,5 cm pertenecen a 100 horas.

2. Estimación de la carga de combustible

La expresión "carga de combustible" significa cantidad de material por unidad de superficie. Su estimación puede realizarse mediante el levantamiento de datos a partir de transectas lineares (no destructivo), mediante la recolección y pesado (destructivo) o a partir de series fotográficas.

2.1. Inventario

El inventario es la cuantificación del material combustible que se encuentra en una comunidad vegetal que va a estar sujeta a un programa de manejo del fuego. El inventario es un método que tiene aplicaciones y facetas en temas forestales, de manejo de pastizales y en investigaciones en general. Un inventario apropiado de combustibles vegetales de sotobosque, por ejemplo, requiere de numerosas técnicas debido a la gran variedad de características físicas de las plantas. Así, la descripción y medición de características de combustibles requiere de conocimientos en identificación de especies vegetales, técnicas de muestreo y de estimación de carga, y en herramientas para la estimación del contenido de humedad del combustible.

En la ciencia del fuego, el método más utilizado para inventarios de combustibles es el desarrollado por Brown *et al.* (1984) denominado de intersección planar, ideado originalmente para conocer las cargas de combustibles como parte de información básica destinada a conocer el comportamiento potencial del fuego para establecer estrategias de manejo del fuego en áreas silvestres.

La caracterización general de la vegetación del área a afectarse por fuego no requiere de instrumental o de técnicas complejas de medición y consiste en tres etapas:

- Identificación del combustible que conduce el fuego (hojarasca, pastos, arbustos, troncos o ramas caídas).
- Descripción de continuidad horizontal, considerando que grupos de arbustos o pequeños bosquetes y su unión por pastizales, evaluando asimismo el efecto del viento en la propagación del fuego ya que fuertes vientos la favorecen.
- Descripción continuidad vertical observando altura de las ramas y copa de los árboles, presencia de escalera de combustibles dentro del bosque, presencia de regeneración, arbustos bajos, enredaderas, etc.

2.2. Carga de combustibles disponibles

La determinación de la carga de combustible comprende plantas vivas y muertas. Las piezas de vegetación se consideran como partículas de

combustibles separados en tamaños, desde pequeñas hojas y ramas delgadas a ramas gruesas y troncos o árboles caídos. El muestreo puede realizarse utilizando una técnica determinada para cada grupo: árboles en pie, arbustos, pastos y hierbas, capas de hojarasca y de mantillo del suelo del bosque, y desechos forestales:

La presencia de regeneración puede contribuir significativamente a la propagación de fuegos de superficie y su traslado a las copas. Por ello la estimación de la biomasa de regeneración arbórea con una altura menor a 3m es importante en bosque nativo, puro o mixto, con abundante regeneración, o en plantaciones de pinos adultas que han comenzado a regenerar.

Para el caso de coníferas, un método existente para la estimación de biomasa fue desarrollado por Brown (1978) el cual puede aplicarse en la Argentina en plantaciones de pino. El método requiere determinar el número de árboles por hectárea por especie y la altura. La biomasa del follaje y las ramas por clase de tamaño, se calcula mediante la relación peso/altura.

La biomasa de árboles de diámetro mayor a 5 cm a la altura del pecho (DAP), puede estimarse por tablas de biomasa o de volumen de la especie, convirtiendo volumen a peso mediante la densidad de la madera. Este método requiere técnicas de medición propias de la silvicultura, es decir obtener el número de árboles por hectárea, o área basal por hectárea, el diámetro a la altura del pecho y la especie, para acceder a las tablas de volumen (Brown *et al.* 1982). En nuestro país ya se cuenta con tablas de volumen para diferentes especies de pino y con tablas de biomasa como es el ejemplo para pino ponderosa, lo que permitiría la utilización de estos métodos en algunas regiones.

La biomasa de arbustos puede estimarse por dos métodos básicos no destructivos. El primero relaciona biomasa con el diámetro del fuste, y fue descrito por Telfer (1969) para arbustos del Este de Canadá y por Brown (1976) para arbustos del noroeste de la Montañas Rocosas. Este método ha mostrado altas correlaciones entre diámetro del fuste y el peso para distintas partes de un arbusto; requiere el recuento del número de fustes por diámetro en parcelas de tamaño conocido y se aplica fácilmente a arbustos de todos los tamaños. Su desventaja es que requiere un tiempo considerable. Este esfuerzo puede minimizarse registrando diámetro de fuste por clases de tamaño. El segundo método se basa en la relación entre la biomasa, el área de cobertura de la copa y el volumen de la copa, descrito para arbustos del semidesierto de Nuevo México (Ludwig *et al.* 1975) y en California (Bently *et al.* 1970). Requiere las mediciones de diámetro de copa y altura del arbusto, y resulta práctico en arbustos medianos y pequeños.

Las técnicas de estimación del peso o biomasa en pastizales y vegetación herbácea se pueden agrupar en tres categorías: cortado y pesado, estimación y combinación de pesado y estimación.

La carga de hojarasca y de mantillo del piso del bosque se debe determinar en forma separada, debido a que la capa de hojarasca es mucho menos densa y con frecuencia se quema de manera independiente del mantillo. El método más preciso de estimación de la carga de ambos es mediante la recolección de material y pesado muestras, lo que implica su transporte de muestras y secado en estufa.

La carga de material caído o de desechos (combustibles muertos) involucra todas las ramas finas y gruesas, troncos y restos de copa de árboles o arbustos caídos sobre la superficie, y/o restos de aprovechamientos que se encuentran en los bosques. La carga de estos combustibles varía considerablemente de acuerdo al tipo de bosque, debido principalmente a la historia del rodal y a la productividad del sitio (Brown et al. 1981). La recolección y pesado de estos materiales resulta poco práctico, es por esto que se desarrolló el método de intersección planar.

Esta técnica requiere el conteo de intersecciones que se producen entre las partículas de combustibles y una línea horizontal, de ancho infinitesimal, que se proyecta en un plano vertical, hasta una altura de 1,70 m (altura de la cabeza del hombre). Luego de realizar el conteo, mediante la utilización de un conjunto de fórmulas se obtiene directamente la carga de combustibles muertos.

2.2.1. Descripción general del método de intersección planar

Las medidas de cada parcela son 10 X 15 m (en la Fig. 1 se muestra un ejemplo, donde se incluyen un total de 20 árboles para el caso de una plantación a 3 x 3m de equidistancia, pero es variable según la densidad de la misma y el tratamiento a que haya sido sometida). En cada parcela se mide la pendiente en porcentaje (%) mediante la utilización de un clinómetro, la exposición usando brújula, y la cobertura (proyección de las copas de los árboles) con un densiómetro.

La biomasa que se encuentra por encima del suelo (ton/ha) correspondiente a arbustos, plantas herbáceas y gramíneas se corta de dos subparcelas de 1 m² de superficie seleccionada al azar (Figura 1). La totalidad de biomasa se separa por tipo de combustible. El porcentaje de materia seca se determina mediante el secado a estufa hasta peso constante de por lo menos 100g durante 24 horas a 104° C. El peso seco total de cada tipo (arbustos, hierbas, gramíneas) se determina mediante el ajuste de la totalidad del

peso fresco por el porcentaje de peso seco de la muestra. La hojarasca, material ubicado en el horizonte O1, incluye hojas frescas caídas en forma reciente, hojas secas sin descomponer, exfoliaciones de corteza, escamas de conos y aquellos conos que se encuentren sueltos o enterrados hasta la mitad de su volumen (Brown et al. 1982). La materia orgánica en descomposición, el horizonte O2, también humus, está ubicado entre la hojarasca y el suelo mineral.

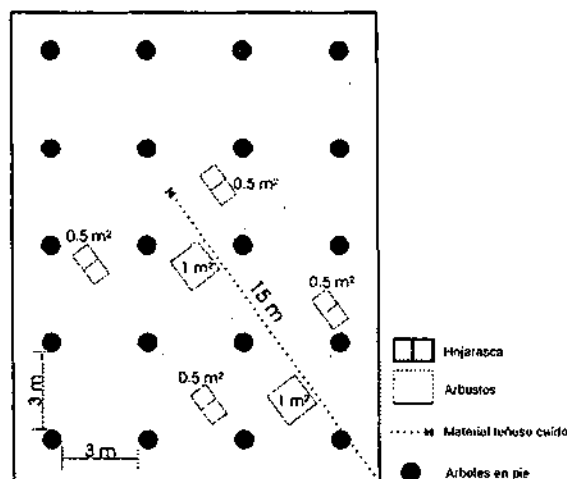


Figura 1. Diagrama de la parcela sobre la base de Brown (1984) aplicado en una plantación (Rodríguez, 1996).

Para un correcto procedimiento es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Ubicar la parcela al azar.
2. Colocar una cinta métrica extendiéndola sobre el suelo hasta los 15 m de longitud.
3. Realizar el conteo de las intersecciones siguiendo la cinta y comenzando en uno de sus extremos, según el siguiente detalle:
 4. en los primeros 2 m; contar el 100% del combustible fino con menos 0,5cm de diámetro (1-hora de tiempo de retardo),
 5. en los primeros 4 m: contar el 100% del combustible mediano con diámetros entre 0,6 y 2,5cm (10-horas de tiempo de retardo),
 6. a lo largo de los 15 m contar el 100% del combustible mediano con diámetros entre 2,6 y 7,5cm (100-horas de tiempo de retardo),

Realizar los siguientes cálculos:

$$[1] \ 0-7,5cm = \frac{11,64 \times n \times d^2 \times s \times a \times c}{NI}$$

$$[2] \ >7,5cm = \frac{11,64 \times \sum d^2 \times s \times a \times c}{NI}$$

n : número total de intersecciones de cada clase diamétrica.

d^2 : promedio de diámetros cuadrados para cada clase diamétrica mayores a 7,5 cm.

s : peso específico para cada clase diamétrica (ver tabla 1).

a : corrección del ángulo no horizontal, en terreno con pendiente (ver tabla 3).

c : factor de corrección de la pendiente (ver tabla 2).

$\sum d^2$: sumatoria de los diámetros cuadrados de todas las piezas mayores de 7,5 cm.

Nl : número de intersecciones multiplicado por la longitud de la línea en el plano

Tabla 1. Peso específico para material muerto en coníferas, s .

Clase diamétrica	0-0,5cm	0,6-2,5cm	2,51-7,5cm	>7,5 sano	>7,5 podrido
Peso específico	0,48	0,48	0,40	0,40	0,30

Tabla 2. Factores de corrección para la pendiente medida en porcentaje, c .

Pendiente	Factor de corrección	Pendiente	Factor de corrección
porcentaje %	c	porcentaje %	c
0	1,00	60	1,17
10	1,00	70	1,22
20	1,02	80	1,28
30	1,04	90	1,35
40	1,08	100	1,41
50	1,12	110	1,49

Para aquellas pendientes que no se encuentren en la tabla se puede calcular el factor de corrección aplicando la siguiente formula:

$$c = \sqrt{1 + \left(\frac{\text{pendiente}(\%)}{100}\right)^2} \quad [3]$$

Tabla 3: Factor de corrección para el ángulo no horizontal, a .

Clase diamétrica	Material fresco	Material 1 año o + viejo
0-0,5	1,25	1,15
0,6-2,5	1,25	1,13
2,51-7,5	1,22	1,10
> 7,5	1,00	1,00

Para todo material de diámetro igual o mayor a 7,5 cm, se realiza el cálculo del cuadrado del diámetro (d^2) de cada intersección, y luego la sumatoria de los valores de todas las piezas encontradas en el área muestreada ($\sum d^2$).

A continuación se presenta un ejemplo para mayor comprensión:

Clases diam.	Const	n	d^2	s	a	c	l	Tn acre	Tn Ha
0 - 0,5	11,64	106	0,015	0,48	1,13	1,00	30	0,337	I
0,5 - 2,5	11,64	62	0,289	0,48	1,13	1,00	30	3,771	II
2,5 - 7,5	11,64	25	2,76	0,48	1,13	1,00	50	7,261	III
>3 sano	11,64	$\sum d^2$ para >3		0,40	1,10	1,00	17	19,696	IV
>3 podrido	—	673	5						
>3 sano y podrido = IV + V =								19,696	VI
Total I + II + III + IV =								31,064	VII

En aquellos rodales en los que se realizan actividades de manejo tales como el raleo, la acumulación de los combustibles es un tema aparte. Se genera una gran cantidad de material, acondicionado a veces en largas fajas o rumas denominadas en algunos lugares escolleras. Estas representan más un peligro que una solución, ya que generalmente se encuentran dispuestas en forma paralela a la pendiente lo que significa una rápida vía de propagación del fuego. Por otro lado el material desechado se estiba apoyado en hileras de plantas, lo que en caso de un incendio producirá la segura mortandad de las mismas debido a la intensidad calórica, tanto en cantidad como en tiempo de exposición, que recibirán los troncos de las plantas.

Como ejemplo de la acumulación, el material que queda como residuo del raleo, en el caso de una plantación de pinos ponderosa de 16 años de edad arrojó la cifra de 21 ton/ha, cuya composición se muestra en la Figura 2.

Composición del material combustible proveniente del raleo en plantación de pino poderosa

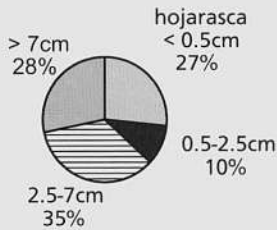


Figura 2. Composición del material combustible resultante del primer raleo en plantación de pino poderosa de 16 años de edad (Rodríguez, 1996).

Para su relevamiento se realizaron mediciones en el material ordenado en «escolleras».

La metodología consistió en:

a. Se toman porciones de 1,00 m de longitud por el ancho de la faja y en ellas se realiza la clasificación según las diferentes clases antes mencionadas (<0,5 cm; 0,5-2,5 cm; 2,5-7 cm; >7 cm), y su posterior pesaje (Figura 3).

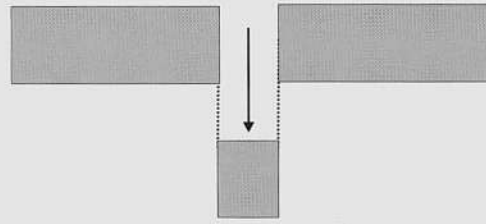


Figura 3. Esquema de medición de la porción de la ruma. (Julio-Alvear Guillermo, 1987).

b. Se determinan figuras geométricas para establecer el volumen. (Figura 4).

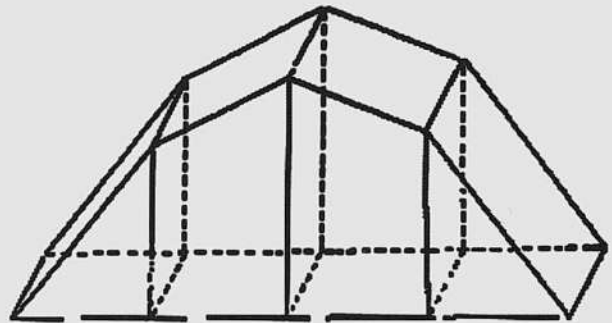


Figura 4. Adaptación a un cuerpo geométrico conocido para facilitar el cálculo del volumen.

Finalmente es importante aclarar que en cada situación en que se presenta material combustible, se producirá una reacción particular en relación al comportamiento del fuego. El comportamiento del fuego depende no solo del material vegetal (combustible) afectado sino también de las condiciones ambientales donde y en que se desarrolla el fuego, especialmente en lo referente al estado del tiempo atmosférico y a la topografía del lugar. Es importante tener presente esto, ya que si el material combustible existente en un lugar ha sido evaluado correctamente, en base a las condiciones ambientales se puede pronosticar el comportamiento esperado de un fuego, ya sea éste un incendio o una quema prescrita.

3. Bibliografía

- Bentley J.; D. Seegrst y D. Blakeman. 1970. A technique for sampling low shrub vegetation by crown volume classes. U.S.D.A. For. Serv. Res. Note PSW- 215, 11 p. Pac. Southwest For. And Range Exp. Stn, Berkeley, California.
- Brown J. 1974. Handbook for inventorying down woody material. U.S. Forest Service General Technical Report INT- 16, 14 p.
- Brown J. 1976. Estimating shrub biomass from basal stem diameters. Can. J. For. Res. 6: 153-158.
- Brown J. y T. See . 1981. Downed dead woody fuel and biomass in the northern Rocky Mountains. U.S.D.A. For. Serv. Gen. Techn. Rep. INT- 117, 48p. Intermount. For. And Range Exp. Stn, Odgen. Utah.
- Brown J., R. Oberheu y C. Johnston. 1984. Handbook for Inventoring Surface Fuels and Biomass in the Interior West. General Technical Report INT-129. Intermountain Forest and Range Experiment Station. U.S.D.A. Forest Service. Odgen.
- CONAF, U.S.D.A. F. S., AID. 1985. Manual del Combate de Incendios Forestales. 3 Curso Internacional Avanzado de Manejo del Fuego. Chile.
- Davis, K. 1959. Forest fire control and use. Mc Graw-Hill. New York. 584 p.
- Dentoni M. y M. Muñoz. 1999. Glosario de Términos relacionados con el manejo del fuego. Plan Nacional de Manejo del Fuego. Secretaria de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. 33p.
- Fahnestock G. 1970. Two keys for appraising forest fire fuels. Res. Pap. PNW-99. Portland, OR: US Department of Agriculture, F.S. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. 26 p.
- FRDA. 1996. Field Guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System. Handbook 012. Agreement on Forest Resource Development. Canada. 16 p.
- Haines D. 1988. Downbursts and wildland fires: a dangerous combination. Fire Management Notes. 49 (3):8-10.
- Hornby L. 1936. Fire Control Planning in the Northern Rocky Mountain Región. U.S.D.A. Forest Service, Progress Report N°1, Missoula, Montana, 179 p.
- Julio Alvear G. 1974. Fundamentos del Control de incendios forestales. CONAF. Instituto Forestal. Santiago de Chile, 198.
- Julio Alvear G. 1975. Terminología en Control de Incendios Forestales. Corporación Nacional Forestal, PT-7-75, Segunda Edición. Santiago de Chile. 97 p.
- Julio Alvear G. 1988. Estudio de las propiedades físicas de Modelos de Combustibles Forestales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 15 p.
- Julio Alvear G. 1991. Manual de Inventario de combustibles forestales. Publicación docente N° 27. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 72 p
- Ludwig J., J. Reynolds y P. Whitson. 1975. Size-biomass relationships of several Chichuahuan Desert shrubs. Am. Midland Nat. 94 (2): 451-461.
- Merrill D. y M. Alexander. 1987. Glossary of Forest Fire Management terms. 4th ed. Natl. Res. Council. Can. Public. NRCC 26516. 91 p.
- Rodríguez, Norberto F. 1996. Plan de Protección contra incendios forestales Abra Ancha. Corfone. Neuquén.
- Telfer E. 1969. Weight-diameter relationships for 22 woody plant species. Can. J. Bot. 47: 1851-1855.

Fuego prescripto en plantaciones de pino

Carlos Kunst¹, Norberto Rodríguez² y José A. Maldonado³



Plantación de pino con residuos de poda Foto: J. Maldonado

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero
e-mail: ckunst@correo.inta.gov.ar

² Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Esquel, Chubut
email: norberto@ciefap.cyt.edu.ar

³ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

1. Introducción

El fuego forma parte en muchos de los ecosistemas que se encuentran hoy sobre el planeta. En algunos casos el evento fuego se repite en forma natural en períodos muy cortos, entre 1 a 7 años, como en las formaciones de pastizales o en las sabanas. En otros puede darse cada cientos de años, como por ej. las masas boscosas de *Pinus contorta* en el oeste de los EE.UU, que se queman cada 300 años.

La historia demuestra que el hombre ha aprendido a utilizar el fuego como una herramienta para lograr sus propósitos. La limpieza de campos para habilitarlos para el desarrollo de cultivos y ganadería; o con fines de protección/ invasión (guerras) son algunos ejemplos (Defossé, 1996). En la actualidad, el uso del fuego con apoyo técnico y planificación se denomina *quema prescrita*. La palabra *prescripción* deriva del uso médico del término que hace referencia a receta, al indicar o sugerir el uso y la dosificación de un determinado medicamento para combatir una enfermedad o resolver un problema. La prescripción del uso del fuego está en función a los objetivos buscados o problema a solucionar, a las condiciones del material combustible (cantidad, tamaño, distribución y con-

tenido de humedad en el mismo); condiciones meteorológicas (temperatura, humedad relativa del aire, lluvias y velocidad del viento) y por último a las condiciones del terreno (exposición y pendiente).

El objetivo de este Capítulo es analizar las ventajas y desventajas del fuego prescrito y su posible conveniencia de uso en plantaciones de pino. Se presentarán algunos resultados obtenidos en quemas prescritas en nuestro país.

2. Fuego prescrito y actividad forestal

En las faenas forestales la utilidad de las quemas prescritas se presenta en diferentes momentos del desarrollo del bosque natural o implantado (Figura 1). Algunas de ellas son las siguientes (Walstad y Seidel, 1990, Ronde *et al.*, 1990, Wade, 1991; McRae *et al.*, 1994):

- A. Preparación del sitio para la plantación.
- B. Control de la vegetación (ej. malezas).
- C. Manejo de los combustibles y reducción del riesgo de incendios.
- D. Eliminación de residuos del raleo.
- E. Eliminación de residuos de las tareas de aprovechamiento.

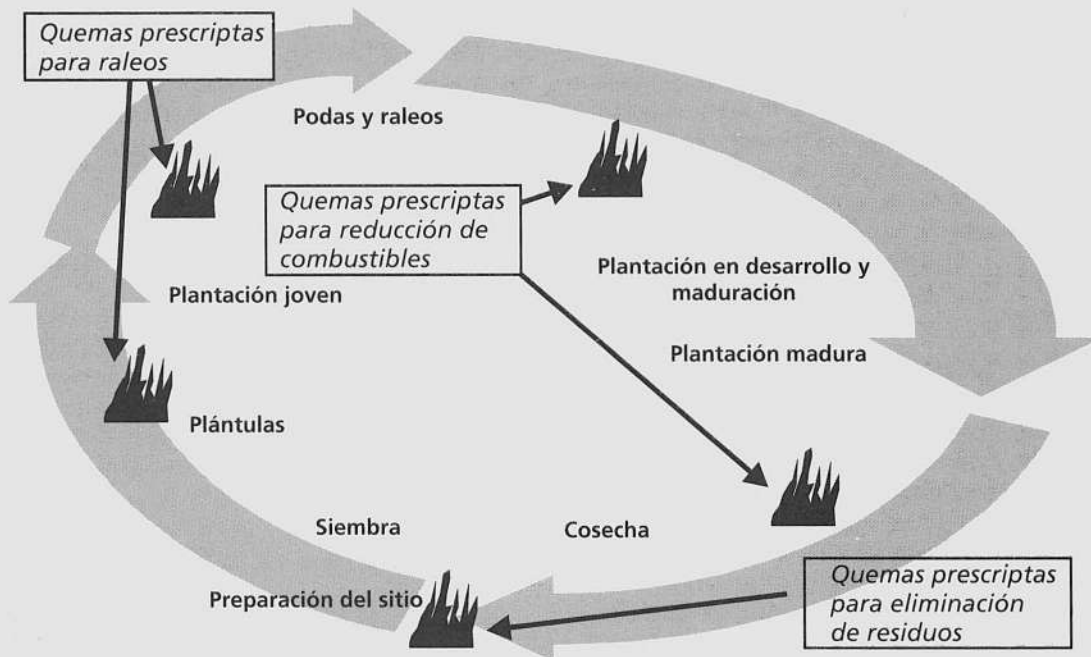


Figura 1. Etapas de desarrollo de una plantación de pino, mostrando prácticas forestales claves y momentos adonde es factible emplear fuego prescrito.

Otros objetivos incluyen el control de plagas y pestes, mejoramiento de hábitat para fauna y mejora de la estética (Brennan y Hermann 1994, Mutch, 1994; Wright y Bailey, 1982). El fuego prescripto puede ser utilizado para alcanzar cualquiera de esos objetivos en plantaciones comerciales de pino, eucalipto y otras especies comerciales, aunque la experiencia en pino es mayor a nivel mundial. La práctica de fuegos prescripto es aplicada en forma generalizada en Estados Unidos, Australia, Canadá, España y Sudáfrica. Para dar una idea de su popularidad, 1.500.000 ha son quemadas anualmente en forma prescripta con distintos fines solo en el sur de Estados Unidos (Wade y Lunsford, 1989).

(A) Preparación del sitio para la plantación.

Luego de la cosecha final, gran cantidad de material vegetal queda depositado en la plantación. Esta biomasa contiene un gran 'capital' en nutrientes extraídos del suelo, impide el tránsito y representa un peligro grave en el caso de un incendio accidental. En el caso de bosques de regeneración natural, es necesario que las semillas de los árboles vecinos y/o las existentes tengan acceso a suelo mineral y a la luz solar, como en el caso de *Pinus ponderosa*, adaptado a hábitats 'abiertos', con alta disponibilidad de luz. Solo el fuego prescripto es capaz de ejecutar ambas tareas en forma rápida y eficiente (Walstad y Seidel, 1990).

(B) Control de vegetación competitiva (ej. malezas).

En las primeras etapas de desarrollo de la plantación el fuego prescripto puede ser utilizado para controlar malezas y otra vegetación competitiva que puede 'ahogar' a la especie objetivo por falta de luz y agua. Sin embargo, los resultados de experiencias son contradictorios, debido a que si el combustible fino se elimina totalmente, se presentan efectos indeseables debido a la falta de cobertura del suelo (Ronde *et al.*, 1990).

(C) Manejo de los combustibles para reducir el riesgo de los incendios.

El riesgo de fuego es omnipresente en las plantaciones de cualquier especie (Carpinetti *et al.*, 1995), siendo causado por la acumulación de material vegetal *in situ*. En plantaciones de pino, uno de los orígenes es el crecimiento, reemplazo anual y caída natural de las acículas.

En general, la tasa de acumulación de acículas es mayor que la capacidad de degradación de los ecosistemas en que las plantaciones se encuentran asentadas. Las características químicas de la materia orgánica producida de muchas especies no facilita su degradación rápida (ligninas, terpenos, etc.). Este material no tiene valor co-

mercial alguno, salvo que se lo emplee como cama de siembra en viveros

El resultado de la excesiva acumulación de combustible de distinto tipo en el suelo de las plantaciones es el incremento del riesgo de incendios fortuitos no deseados y de ocurrir estos, los daños potenciales a la plantación. Otros efectos indeseables del exceso de material vegetal (mantillo, hojarasca) es la retención de nutrientes en tejidos vegetales sin descomponer y el enfriamiento del suelo. Existen también problemas de transitabilidad y de acceso (Wright y Bailey, 1982, Hungerford *et al.*, 1991).

Los métodos tradicionales de manejo del material vegetal excedente o combustible en nuestro país son la ignorancia consciente y/o convivencia con el problema, enfatizando las tareas de supervisión y vigilancia. En general, la estrategia clásica responde a un modelo de prevención estricta, con la construcción de torres de vigilancia, creación de cuadrillas de bomberos, etc. Muchas de las plantaciones forestales se ubican en áreas de pastizales y/o sabanas donde el fuego es un componente natural. El peligro de fuegos destructivos aumenta así en forma exponencial.

El fuego prescripto es una herramienta que empleada en forma adecuada, puede reducir los costos de vigilancia y el peligro de incendios de manera drástica al reducir la carga de combustible por unidad de superficie. El fuego es, por otra parte, un factor natural en los ecosistemas originarios de muchas especies empleadas para plantaciones comerciales en nuestro país (Gill *et al.*, 1981, Wright y Bailey 1982, Ronde *et al.* 1990, Bradley *et al.*, 1992). Ronde *et al.*, (1990) indican que plantaciones de pino el fuego prescripto es la única herramienta práctica y económica para manejar el problema del exceso de combustibles finos.

(D) y (E) Eliminación de residuos de poda y raleo.

Este es otro origen de material de escaso valor comercial que se acumula en las plantaciones, y se deposita generalmente en el lugar de trabajo o en las cercanías del mismo, creando condiciones riesgosas en el caso de incendios, además de ser un depósito de nutrientes.

3. Fuego y el género *Pinus*

El género *Pinus* con sus diferentes especies, especialmente *P. elliotii*, *P. taeda*, *P. contorta* y otras están muy difundidas a nivel mundial para plantaciones forestales. El fuego es un factor ecológico importante en sus hábitat de origen (Ronde *et al.*, 1990; Koch, 1996) y las especies citadas poseen rasgos silviculturales que les per-

miten adaptarse a fuegos de baja intensidad y rápida velocidad de propagación. Esos caracteres son: el espesor de la corteza y la altura de individuos maduros, algunas veces superior a los 30 m (Mc Rae et al., 1994).

Una de las revisiones más completas sobre el uso y efectos del fuego para reducción de combustibles en pinares ha sido realizada por Ronde et al., (1990). Su conclusión es que, en un balance final, el fuego produce resultados altamente positivos para manejo de plantaciones comerciales de pino. La frecuencia de fuego a aplicar sería una intervención cada 2-4 años, dependiendo de la especie y circunstancias locales según la dinámica de los combustibles. De acuerdo a Ronde et al., (1990) mantener la carga de combustible por debajo de 11 ton.ha⁻¹ debe reducir en forma sustancial el peligro de incendio.

Además, debe tenerse en cuenta que las plantaciones de pino se realizan en ecosistemas de sabana, pastizal o arbustal donde el fuego es un fenómeno frecuente. Erradicar el fuego de las plantaciones en esas circunstancias puede ser contraproducente, al crear condiciones de quemaduras tipo 'holocausto', debido a la acumulación excesiva de combustibles y la cercanía de fuentes de ignición (ver Cap. 2).

En plantaciones sin poda, la velocidad de avance del fuego se duplica y las tareas de control se quintuplican en comparación con plantaciones adonde se ha realizado la poda. De allí que la poda y otras tareas forestales sean condición *sine qua non* para realizar quemaduras prescriptas bajo dosel (Ronde et al., 1990).

3.1 El fuego, el crecimiento y el rendimiento de la plantación de pino

La mayor preocupación de los profesionales, propietarios y encargados responsables de plantaciones son los potenciales efectos del fuego sobre los árboles, objeto final de la actividad. Si el propósito del fuego prescripto es la reducción de combustibles, la preocupación es aún mayor debido a que el fuego ocurre dentro mismo de la plantación, es decir los árboles están en contacto directo con el fuego.

¿Que efecto tendrá el fuego sobre mi plantación? Esa es la pregunta clave. Los temores y ansiedades van desde la pérdida completa de la plantación hasta

pérdida de calidad del sitio forestal, pasando por ataques de plagas y enfermedades; y disminución del crecimiento.

Los efectos del fuego sobre el suelo fueron tratados en detalle en un Capítulo anterior.

3.1.1 Efectos del fuego sobre los tejidos y órganos:

Estos son causados por el calor liberado durante la quema, que es absorbido por los distintos órganos y tejidos vegetales cercanos al fuego: fuste, ramas, follaje, raíces, cambium, etc. Se acepta por convención internacional que la temperatura letal mínima para el tejido vegetal es de 60 °C durante 10 minutos (Wright y Bailey 1982).

La corteza de los pinos posee buenas propiedades aislantes y es el tejido que protege al cambium - responsable del crecimiento- del fuego. Para que la corteza actúe como protectora eficiente, debe poseer un espesor mínimo de 1,2 cm (Ronde et al., 1990, Bravo y Gimenez Mosca 1996). Excepto por *Pinus patula* y *P. radiata*, daños al cambium no son un problema de gran importancia en fuegos prescriptos, debido a que los protocolos generan fuegos de baja intensidad (Ronde et al., 1990). Por otra parte, una vez que los individuos de *P. elliotii* ha alcanzado 5 cm de diámetro en la base, los fustes son 'inmunes' a daño por fuego prescripto (Wade y Johansen 1986, Ronde et al., 1990).

La bibliografía internacional indica que el daño al follaje es de mucha mayor importancia que el daño al cambium. Las acículas son muy susceptibles al calor: temperaturas por arriba de los 55 °C las matan casi instantáneamente (Ronde et al., 1990; Wade y Johansen, 1986). El chamuscado y muerte del follaje de algunas ramas basales no es de mayor importancia, pero a medida que el dosel completo está quemado, la planta puede llegar a morir. *P. elliotii*, *P. taeda* y *P. pinaster* pueden sobrevivir al chamuscado total del follaje, pero se observa disminución del crecimiento (Tabla 1).

Tabla 1. Relación entre fuego prescripto y repuesta del crecimiento en pino (Ronde et al., 1990).

Chamuscado de copa (%)	Daño
0 - 33	Se puede observar un pequeño incremento en crecimiento en el ciclo de crecimiento inmediatamente post-fuego. Si hay daño a la raíz, ocurre lo contrario
34-66	Pérdida de incremento volumen menor al 40 % de un año de crecimiento, y sólo se observa en el ciclo de crecimiento inmediatamente post-fuego.
67-100	Pérdida puede ser equivalente a un año de crecimiento. Puede ocurrir mortalidad.

Si el follaje se enciende, la muerte de la(s) planta(s) es casi una consecuencia directa debido a las temperaturas requeridas. Esta susceptibilidad del follaje de pino al calor limita la aplicación del fuego prescripto solo a las plantaciones que han recibido el tratamiento cultural de la poda en forma regular. Existen programas de computación y ecuaciones que permiten predecir la posible mortalidad en función del grado de daño al follaje (Agee 1993, Wade y Johansen 1986).

La bibliografía internacional señala que si la quema prescripta es bien conducida, es decir que el fuego se mantiene dentro de las intensidades apropiadas, el daño potencial a la los tejidos y órganos es mínimo y es balanceado por los efectos positivos en reducción de combustibles, disminución de costos de protección, facilidad de combate a los incendios por su menor intensidad y velocidad de propagación y aumento de la fertilidad (Ronde *et al.*, 1990).

3.1.2 Efectos del fuego sobre el rendimiento

En la Argentina no existe información sobre este aspecto. A nivel internacional la bibliografía indica que a pesar que las plantaciones en donde se realiza la práctica de quema prescripta en forma regular pueden presentar mayor crecimiento y rendimiento en volumen que las no quemadas, los resultados no son concluyentes y son contradictorios debido a diferencia de sitio, manejo y clima (Miller y Seidel, 1990).

4. Quema prescripta bajo dosel

El 'comportamiento ideal' para una quema prescripta bajo dosel admite muchas definiciones (ver Cap. 17). A los fines de este Capítulo y solo como ejemplo, se define como aquel que consume parte del combustible fino (entre el 50 y 70 %), pero produce un chamuscado (daño) mínimo tanto al fuste como al follaje de los árboles.

Los atributos del fuego a tener en cuenta para seleccionar el comportamiento ideal del fuego son esencialmente dos: la intensidad y la velocidad de avance. Ambos son importantes tanto en el uso del fuego como herramienta como en su control.

4.1 Intensidad

La intensidad del fuego se define en forma general como la energía liberada por el fuego (ver Cap. 17). Su unidad es el kilowatt (kW), y se expresa en kW.m⁻¹ del frente lineal de fuego. En el terreno, la intensidad del fuego se estima por

observación del largo o longitud de llama (LL). La longitud de las llamas está directamente asociada a la altura de chamuscado del follaje, atributo que influye a su vez en la supervivencia de los mismos luego del fuego (Wade, 1985).

4.2 Velocidad de avance

La velocidad de avance (VA) del frente de fuego se mide en m.seg⁻¹, está asociada con la intensidad del fuego (ver Cap. 17) y es un atributo que indica la relativa facilidad de controlar el fuego. La velocidad de avance es proporcional al contenido de humedad del combustible y a la velocidad del viento. A mayor VA, el ataque directo al fuego se hace cada vez más difícil. Sin embargo, a menor tiempo de residencia en un punto, menos posibilidades de daño a los objetos circundantes. En la práctica, la VA se calcula a través del tiempo empleado por el fuego para recorrer una distancia conocida.

4.3 Intensidad + VA ≈ Prescripción

La prescripción de quema se desarrolla a partir de los objetivos y límites impuestos a los parámetros que influyen el comportamiento del fuego (Martin, 1990). La prescripción trata de fijar la intensidad y la VA del fuego. Por lo tanto deben conocerse los límites tolerables de ambos antes de seleccionar la técnica de ignición apropiada.

Debido que el objetivo más común del uso del fuego en plantaciones forestales comerciales de pino es la reducción de combustibles, especialmente los finos (diámetro < 0,5 cm), la discusión que sigue pondrá énfasis en la misma.

Una prescripción puede desarrollarse mediante dos procedimientos: (a): definición de las condiciones meteorológicas límite para un comportamiento apropiado del fuego; o (b): para una intensidad 'objetivo' obtener las condiciones meteorológicas adecuadas.

La primera metodología emplea elementos meteorológicos, responsables primarios del comportamiento del fuego, y nos brinda condiciones generales, de referencia, que enmarcan la mayoría de las quemas prescriptas. Así, para quemas prescriptas bajo dosel, la bibliografía recomienda quemar bajo las siguientes condiciones ambientales (Kilgore y Curtis 1987, Wade y Lunsford 1989, Ronde *et al.*, 1990):

Temperatura del aire (TA) < 20 °C
Humedad relativa del aire (HR): 35-50 %
Humedad combustible fino: 10-20 %
Velocidad del viento (VV): 2-6 km/h.

La VV se debe medir a 1,5 m de altura, observada dentro de la plantación o bosque. El LL sugerido para quema prescripta para reducir com-

bustibles finos bajo dosel es el siguiente (Wade y Johansen 1986):

LL < 1m (ideal = 30-80 cm).

La intensidad resultante de este tipo de fuego es menor a $300 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$, que es bien tolerada por individuos por encima de los 7 años de edad en la mayoría de las especies comerciales debido al espesor de corteza (Tabla 1). El chamuscado del follaje es también menor con esas intensidades.

No existe una VA ideal, sino que esta está limitada por la intensidad a obtener, la eficiencia de trabajo y las condiciones de seguridad. Así, por ej., Wade y Johansen sugieren que para fuegos en retroceso la VA = $0,045 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. En la práctica, ello significa que se quemarán franjas de 50-60 m de ancho por hora e implica el encendido de varios bloques al mismo tiempo, lo que puede crear problemas de seguridad.

El segundo procedimiento para obtención de una prescripción requiere del uso del programa 'BEHAVE' (Andrews y Bradshaw 1990), que está basado en el modelo matemático de Byram (Rothermel, 1983) y que permite estimar con bastante precisión la intensidad del fuego y las condiciones climáticas requeridas para determinado tipo de combustibles.

La información presentada en los párrafos anteriores está basada en la experiencia de los autores y extraída de la bibliografía internacional sobre el tema. Debe ser tomada en cuenta solo como referencia orientativa. Una prescripción de quema prescrita debe ser siempre específica para cada objetivo, sitio y plantación forestal en particular. Esto es consecuencia de la variación en las circunstancias de la vegetación y el ambiente.

5. Experiencias de quemas prescritas en la Argentina

Entre 1998 y 2000 se implementaron en nuestro país ensayos de quema prescrita a fin de evaluar su factibilidad en la reducción de combustibles de tamaño fino y mediano en plantaciones *Pinus taeda*, *P. elliotii* y *P. ponderosa*, a fin de reducir el peligro de fuegos accidentales (Kunst et al., 2002). Se analizaron también los efectos del fuego sobre atributos comerciales de las plantaciones (ej. daño al fuste, crecimiento, mortalidad, enriquecimiento de nutrientes, etc.), la eficiencia del fuego para eliminar distintos tipos de combustibles; y efectos sobre las características edáficas del sitio forestal.

Los ensayos se llevaron a cabo en plantaciones comerciales, con 7 años como mínimo de edad, espacio entre plantas 2 - 3 m y densidad

mínima 700 pl/ha. En el caso de *Pinus ponderosa*, las plantas tenían más de 13 años con poda. La ubicación de los ensayos fue Misiones, Santiago del Estero, Neuquén y Río Negro.

Se empleó la siguiente prescripción climática de referencia:

Humedad Relativa: 30-50%.

Velocidad de Viento (en el stand): 5-8 km/h.

Temperatura: < 20 °C.

El largo del llama fue menor a 1 m

Se realizaron en cada parcela las siguientes mediciones:

Carga de combustibles fino (acículas), mediano (10 h) y grueso (100 h).

Características de la plantación: vigor, espesor de corteza, altura de copa, DAP, etc.

Comportamiento del fuego.

Marcha de las variables climáticas (Instrumentos meteorológicos de campaña).

Temperaturas a 0; 0,50 y 0,60 m de altura sobre la superficie suelo.

Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante ANVA. Para separación de medias se empleó el test de Tukey. se empleó en alfa de 0,05 para todos los ensayos.

A fin de evitar exceso de detalles se comentan los resultados de 3 ensayos Misiones (1999), Stgo del Estero (1997) y Neuquén (2000), que representan 3 situaciones contrastantes de ambiente climático: mientras que el promedio de HR del aire durante la quema fue de 50 % -dentro de la prescripción- el contenido de humedad de las acículas fue de 133 %, 57 % y 24 % respectivamente (Figura 2).

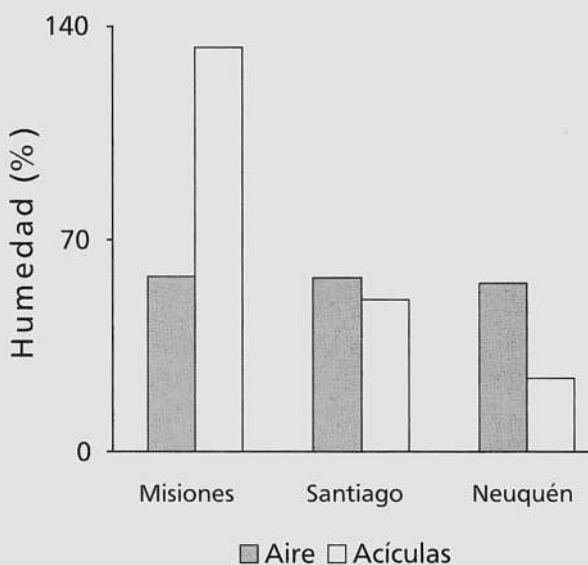


Figura 2. Contenido de humedad de acículas y humedad relativa del aire en tres quemas prescritas bajo dosel de pino en Misiones, Neuquén y Santiago del Estero (Kunst et al., 2002).

Las quemas se realizaron entre las 9 y 14 hs. Se empleó la técnica de ignición en franjas, debido a que por problemas de pronósticos del tiempo el viento fue un problema por defecto en Misiones y Neuquén. La carga inicial de acículas fue de 38000, 7600 y 20248 kg.ha⁻¹ para Misiones, Stgo. del Estero y Neuquén respectivamente. El fuego produjo una reducción de la carga de acículas del 24, 50 y 57 % respectivamente, siendo la misma fue estadísticamente significativa (Figura 3).

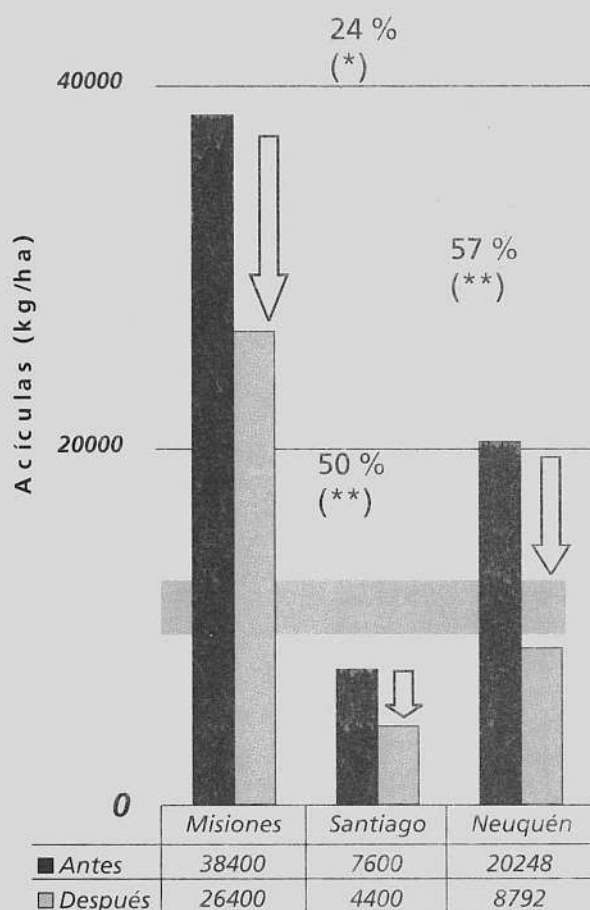


Figura 3. Carga de combustible fino (acículas, kg.ha⁻¹) observadas antes y después en tres quemas prescritas realizadas en Misiones, Santiago del Estero y Neuquén. La barra tramada señala una carga de 11000 kg.ha⁻¹, considerada peligrosa por la bibliografía (Ronde *et al.*, 1990)

Solo se encontró combustible mediano y grueso en las plantaciones de Neuquén y Misiones. En la primera, la reducción en ambas categorías de combustible fue de 80 y 57 %, respectivamente, valores altamente significativos. En Misiones el fuego no produjo una reducción significativa (Figura 4).

El comportamiento del fuego fue aceptable en todos los casos: el largo de llamas nunca so-

brepasó un metro de longitud. La falta de viento especialmente en Neuquén, redujo su eficiencia de trabajo respecto al tiempo. La temperatura sobre la superficie del suelo nunca supero los 300 °C, magnitud en que la materia orgánica del suelo se desintegra. A los 0,6 m de altura, la temperatura superó los 60 °C, pero al ser el espesor de corteza superior a 1 cm, las plantas no murieron, pero se produjo ennegrecimiento del fuste. En algunos casos se produjo encendido de follaje, pero no paso a mayores (Figura 5)

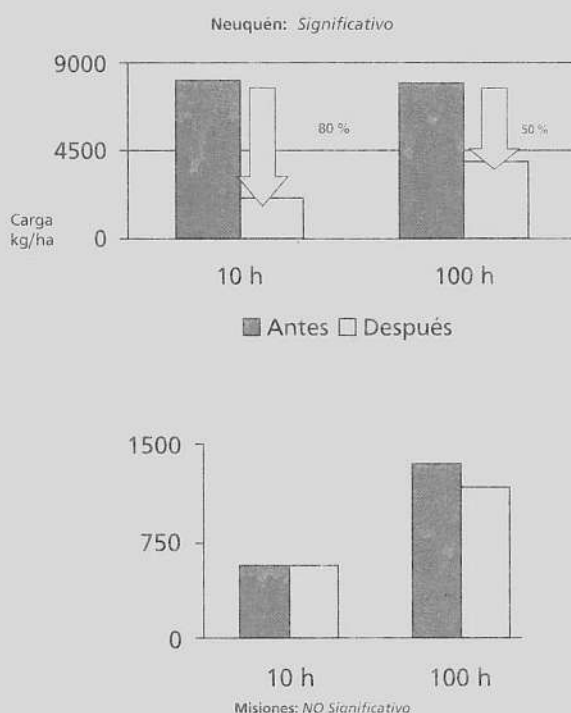


Figura 4. Cargas de combustible de 10 y 100 h observadas antes y después de quemas prescritas realizadas en Neuquén y Misiones.

Como conclusión preliminar, el fuego dentro de la ventana de prescripción produjo una reducción significativa de combustibles finos entre un 24 y 71 %, de acuerdo a las condiciones climáticas, no observándose daños significativos a fustes ni al suelo. Esto convierte al fuego prescrito en una herramienta promisoría para reducción de combustibles en ciertas circunstancias.

6. Desventajas en el uso del fuego prescrito

Como toda herramienta, el fuego prescrito tiene sus alcances y limitaciones. Si el fuego prescrito es mal ejecutado, o no es la herramienta apropiada, puede ocurrir:



Figura 5. Una secuencia de quema prescrita bajo dosel de pino: a) parcelas testigo: se observa la carga de combustibles previa a a quema, c) Estimación de la carga de acículas mediante muestreo, c) balanza de campaña empleada para estimar cargas, d) quema prescrita: observar el largo o longitud de llama, e) una buena quema prescrita bajo dose debe dejar un porcentaje de residuos f) parcelas tratadas un año después.

- A. Destrucción de estructura y cobertura de suelo.
- B. Disminución de la permeabilidad del suelo debido a las cenizas.
- C. Excesiva pérdida de nutrientes contenidos en los distintos tipos de combustibles y en la capa superior del suelo, con la consiguiente efecto a mediano plazo sobre el sitio forestal.
- D. Daño a los fustes y al follaje de los árboles.
- E. Disminución del crecimiento.
- F. Daños a instalaciones e infraestructura.
- G. Pérdida de hábitat de fauna.

Es por este balance de efectos benéficos y negativos que el fuego prescripto es una alternativa que solo de ser propuesta y ejecutada por profesionales.

7. Alternativas al uso del fuego prescripto

Debido a la combinación de efectos deseables e indeseables del fuego prescripto, existen herramientas o prácticas alternativas (Tabla 2) No todas las alternativas son posibles, económicas y tan eficientes en rapidez como el fuego. Para ciertos objetivos, especialmente la reduc-

ción de combustibles finos, el fuego es la mejor alternativa para su manejo.

8. Reflexiones finales

El fuego prescripto es una herramienta que puede tener múltiples usos en la actividad forestal. En el caso de plantaciones de pino de nuestro país puede ser una práctica de gran valor para 'manejar' los combustibles en las plantaciones, especialmente los finos, donde existen pocas alternativas eficientes y económicas. Pueden reducirse así en forma sustancial los costos de protección y ante la eventualidad de un fuego fortuito, reducir su intensidad y velocidad de propagación.

Sin embargo, como toda herramienta, el fuego prescripto tiene también su ámbito específico de aplicación y sus limitaciones. Se debe tener en cuenta la susceptibilidad del cambium y el follaje al calor liberado durante el fuego. La plantación debe estar regularmente tratada con prácticas culturales elementales como la poda y el raleo.

Por último debe destacarse que el fuego puede producir efectos muy negativos en el ecosistema, como por ejemplo muerte de plantas o pérdida de nutrientes del suelo. Por ello la decisión de quemar en forma prescripta debe estar en manos de profesionales capacitados.

Tabla 2. Propósitos y objetivos del uso del fuego prescrito y posibles alternativas (modificado de Ronde et al. 1990).

Propósito	Objetivo	Efecto deseable	Efecto indeseable	Alternativa posible
Reducir el peligro de fuego fortuito	Reducir residuos de cosecha, poda, controlar sotobosque	Reducir intensidad del fuego, remover combustibles, reducir altura del sotobosque	Daño a los árboles (Raíz, follaje, fuste)	Parcial. Remoción mecánica o manual ('chipeadora'). Cortar y quemar fuera de plantación
Preparación del sitio para la siembra	Reducir residuos de cosecha, poda, controlar sotobosque	Exponer suelo mineral.	Puede favorecer la germinación de especies indeseables	Parcial. Uso de herbicidas.
Mejorar el tránsito y la accesibilidad	idem anterior	Mejorar el acceso para faenas forestales		Parcial. Uso de herbicidas
Incrementar crecimiento y rendimiento	Combustible fino (acículas)	Aumentar disponibilidad de nutrientes	Pérdida de nutrientes	Fertilización
Control de plagas	Plagas, enfermedades y su hábitat	Eliminar esporas, huevos, alterar el hábitat.	Daños que pueden inducir susceptibilidad a enfermedades y plagas	Pesticidas
Facilitar pastoreo	Reducir residuos forestales, eliminar tejido forrajero viejo	Crear 'forraje'		Maquinaria.
Reducir riesgo de incendio	Cortafuegos, caminos y áreas cercanas a la plantación	Reducir intensidad y velocidad de avance de los fuegos		

9. Agradecimientos

Los autores agradecen a las firmas Danzer Forestaciones (Misiones) y Estancia Santa Lucía, (Neuquén) así como a la Dirección de Bosques de la Provincia de Santiago del Estero por haber facilitado las plantaciones para los ensayos.

Los ensayos de quema bajo dosel fueron financiados por el Proyecto Forestal de Desarrollo, SAGPyA - BIRF, PIA 18/97

10. Bibliografía

- Agee J. 1993. Fire ecology of Pacific Northwest forests. Island Press, Covelo, California.
- Andrews P. y L. Bradshaw. 1990. RXWINDOW: Defining windows of acceptable burning conditions based on desired fire behavior. U.S.D.A. Forest Service. Intermountain Res. Station GTR-INT-273.
- Bradley A., W. Fischer y N. Noste. 1992. Fire ecology of the forest habitat types of eastern Idaho and western Wyoming. U.S.D.A. Forest Service GTR-INT 290.
- Bravo S. y A. Giménez Mosca. 1996. Efectos del fuego sobre las plantas. Cap. 4, p. 29-36. En: C. Kunst y F. Moscovich (Ed.): Fuego Prescripto. INTA EEA Stgo. del Estero. 134 p.
- Brennan L. y S. Hermann. 1994. Prescribed fire and forests pests: solutions for today and tomorrow. *J. Forestry* 92: 34-37.
- Carpinetti L., F. Dalla Tea, J. Glade y M. Marcó. 1995. Manual para productores de Eucaliptus de la Mesopotamia argentina. EEA Concordia, INTA, Entre Ríos.
- Defossé G. 1996. Introducción a la ecología de fuego. Cap. 1, p. 1-8. En: C. Kunst y F. Moscovich (eds): Fuego Prescripto: Introducción a la ecología de fuego y manejo de fuego prescripto. INTA EEA Stgo. del Estero.
- Gill A. 1981. Adaptive responses of Australian vascular plants to fire. Cap. 11, p. 243-272. En: En: Gill A., R. Groves e I. Noble (Ed.): Fire and the Australian biota. Australian Academy of Sciences. Canberra. 582 p.
- Hungerford R., M. Harrington, W. Frandsen, K. Ryan y G. Niehoff. 1991. Influence of fire on factors that affect site productivity. p. 32-50. En: A. Harvey y L. Neuenschwander (eds): Proceedings. Management and productivity of western Montane forest soils. U.S.D.A. Forest Service GTR-INT 280.
- Kilgore B. y G. Curtis. 1987. Guide to understory burning in Ponderosa Pine-Larch-Fir forests in the Intermountain west. U.S.D.A. Forest Service GTR-INT-233.
- Koch R. 1996. Lodgepole pine commercial forests: an essay comparing the natural cycle of insect kill and subsequent wildfire with management for utilization and wildfire. U. S. D. A. Forest Service, Intermountain Res. Sta. INT GTR 342.
- Kunst C., N. Rodríguez y J. Maldonado. 2002. Uso del fuego prescripto en plantaciones comerciales de pino. Informe preliminar PIA 18/97. INTA EEA Santiago del Estero.
- Martin R. 1990. Goals, methods and elements of prescribed burning. Cap. 5. p.55 - 66. En: J. Walstad, S. Radovasevich y D. Sandberg (eds): Natural and prescribed fire in Pacific Northwest Forests. Oregon State Univ. Press, Corvallis, Oegon.
- McRae D., T. Lynham y R. Trech. 1994. Understory prescribed burning in red and white pine. *Forestry Chronicle* 70: 395 - 401.
- Miller R. y K. Seidel. 1990. Effects of prescribed fire on timber growth and yield. Cap. 15. p. 177-188. En: Walstad J., S. Radovasevich y D. Sandberg (Ed.): Natural and prescribed fire in Pacific Northwest forest. Oregon State University Press, Corvallis, Oregon, 317 p
- Mutch R. 1994. Fighting Fire with Prescribed Fire. A Return to Ecosystem Health. *Journal of Forestry*, Vol 92: 31-34.
- Ronde C. de, J. Goldammer, D. Wade y R. Soares. 1990. Prescribed fire in industrial pine plantations. Cap. 12, p. 216 - 272. En: J. Goldammer (Ed.): Fire in the tropical biota. Springer Verlag, Berlin. 497 p.
- Rothermel R. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. General Technical Report INT-143. United States Department of Agriculture. Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Utah. USA. 161 pp.

Wade D. 1985. Survival in young loblolly pine plantations following wildfire. p. 52-54. Third Conference on Fire and Forest Meteorology, Detroit, Michigan.

Wade D. 1993. Thinning young loblolly pines with fire. *Int. J. Wildland Fire* 3: 169-178.

Wade D. y R. Johansen. 1986. Effects of fire on southern Pine: observations and recommendations. U. S. D. A. Forest Service, Southeastern Exp. Station, General Tech. Report GTR SE-41.

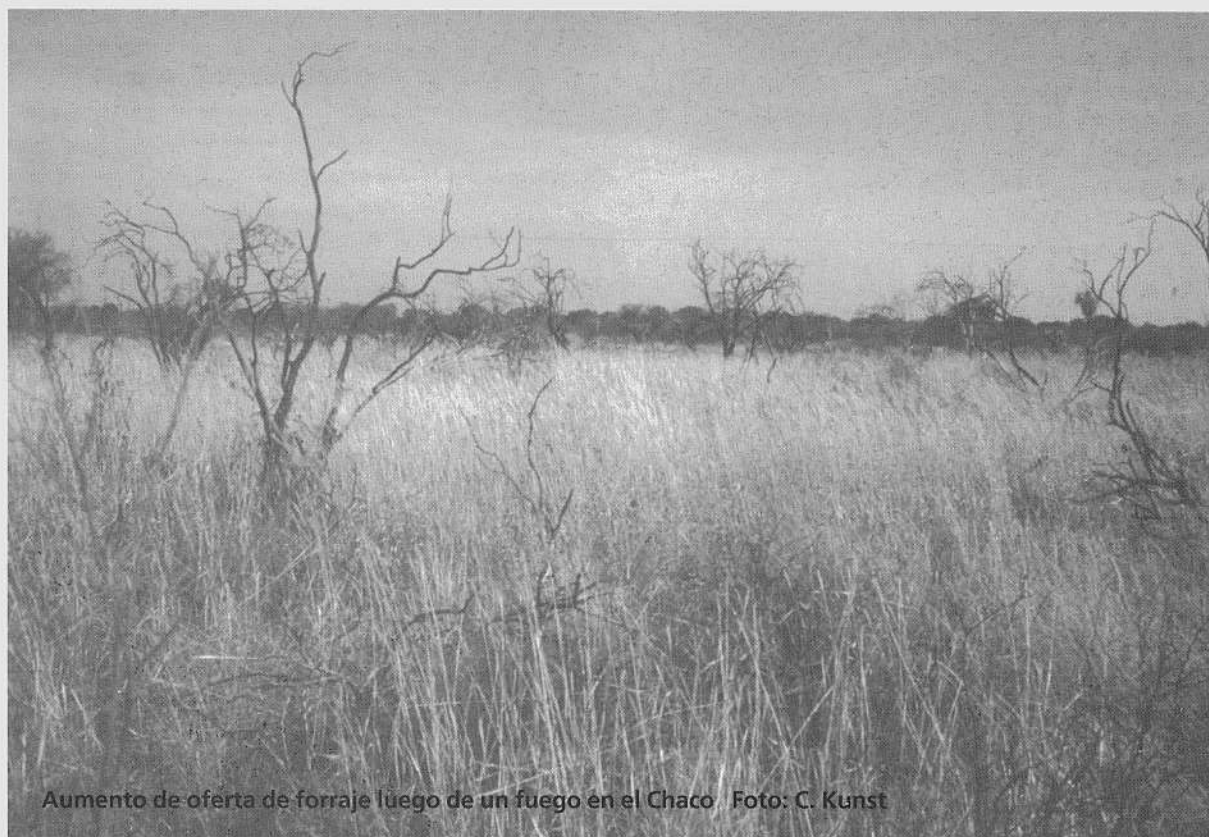
Wade D. y J. Lunsford. 1988. A guide for prescribed fire in southern forests. U.S.D.A. Forest Service, Southern Region R8-TP11.

Walstad J. y K. Seidel. 1990. Use and benefits of prescribed fire in reforestation. Cap. 6, p. 67-77. En: Walstad J., S. Radovasevich y D. Sandberg (Ed.): *Natural and prescribed fire in Pacific Northwest forest*. Oregon State University Press, Corvallis, Oregon, 317 p.

Wright H. y A. Bailey. 1982. *Fire ecology in the United States and Canada*. J. Wiley and Sons, New York, 501 p.

El fuego y el manejo de pasturas naturales y cultivadas en la región chaqueña

Carlos Kunst¹, Sandra Bravo², Eliseo Monti¹, Mónica Cornacchione¹ y José Godoy¹.



Aumento de oferta de forraje luego de un fuego en el Chaco Foto: C. Kunst

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Est. Experimental Agropecuaria Santiago del Estero
e-mail: ckunst@correo.inta.gov.ar

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero e-mail: sjbravo@arnet.com.ar

1. Introducción

El fuego no es sustituto del buen manejo de pasturas

La propuesta de emplear el fuego para alcanzar objetivos agronómicos no es nueva en la región chaqueña: ya Papadakis (1951) proponía su estudio y uso en ganadería de cría. Aunque esta recomendación fue repetida por Morello y Adámoli (1973), solo recientemente se han realizado avances significativos en el tema (Kunst et al., 2000, 2002; Bravo et al., 2001). Históricamente, el fuego en la región se emplea con dos fines: el control de leñosas y la eliminación de tejido vegetal muerto y seco, para promover el rebrote de los pastos. Actualmente se lo emplea también para eliminación de residuos leñosos luego de tratamientos mecánicos (rolados) y la reducción del canopeo en pajonales, previa a la aplicación de herbicidas totales tipo glifosato.

El objetivo de este capítulo es analizar los antecedentes de fuego prescripto con los objetivos mencionados a nivel nacional e internacional, a fin de desarrollar recomendaciones de manejo de fuego y determinar pautas para mejorar su uso y aplicación agronómica en la región chaqueña. Las normas y recomendaciones que aquí se presentan son orientativas y su aplicación debe realizarse dentro de los protocolos de fuego prescripto comunicados en capítulos anteriores de este mismo volumen.

2. La ventana de prescripción

En una situación práctica, con un modelo de combustible ya determinado, el comportamiento del fuego está regido por tres parámetros principales: la temperatura del aire, la velocidad del viento a 1,5 m de altura sobre el nivel del suelo y la humedad relativa del aire (Rothermel, 1983). Esta última es el más importante para determinar el comportamiento del fuego (ver Caps. 17 y 18). Una 'ventana de prescripción' es una manera práctica de visualizar las distintas condiciones ambientales y el comportamiento del fuego asociado. En ella, se definen cuatro cuadrantes que representan cada uno un comportamiento del fuego distinto, desde muy peligroso e inmanejable hasta fácilmente controlable con herramientas de mano (Figura 1).

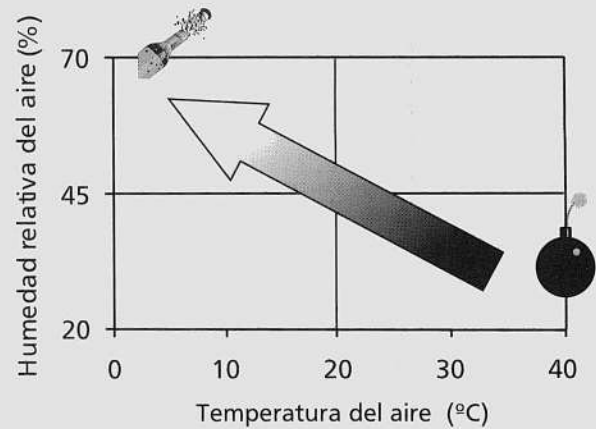


Figura 1. La 'ventana de prescripción' en función de la temperatura (°C) y la humedad relativa del aire (%). El cuadrante inferior derecho representa la situación más peligrosa (baja humedad relativa y alta temperatura), mientras que el cuadrante superior izquierdo el de menos peligro.

3. Temporada de fuego en la región chaqueña

Se extiende entre los meses de junio a octubre: a principios de la misma (mediados de junio a principios de agosto), el tiempo atmosférico es generalmente húmedo y frío y el suelo puede retener aún humedad de las últimas lluvias. Hacia fines de la temporada de fuego (setiembre-octubre) el clima evoluciona hacia mayor sequedad y mayor temperatura del aire. La fenología de los pastos y leñosas acompaña esta variación estacional, así como la intensidad de los fuegos, que se hace paulatinamente más alta (Kunst et al., 2000).

4. Objetivos de las quemas prescriptas

4.1. Control de leñosas

Existen en la región chaqueña distintos tipos de sabanas y pastizales. Localmente, su presencia está determinada por un gradiente de topografía y humedad (Morello, 1968), y regionalmente por otras características como el relieve, el sistema de drenaje, tipo de suelo y el promedio anual de precipitaciones. El principal bien que generan las sabanas y pastizales en su estado original es forraje para el ganado doméstico.

El sobrepastoreo, la ausencia de fuego y/o su baja intensidad causan el reemplazo gradual de las sabanas y pastizales por formaciones vegetales arbustivas de baja altura, densas, de escasa oferta de forraje y baja receptividad animal. Este

fenómeno se produce a nivel mundial (Craig, 1997, van Auken, 2000). En la región chaqueña las formaciones arbustivas están compuestas por leñosas de los géneros *Acacia*, *Celtis* y *Schinus*, con predominio de diferentes especies según la zona. Estos arbustales o fachinales limitan seriamente la oferta de forraje, el tránsito y la accesibilidad (Kunst *et al.*, 2001; Cabido y Zak, 1999).

El fuego se emplea para 'mantener abierta' la sabana y/o el pastizal debido a la susceptibilidad de las leñosas al fuego. La corteza de las especies pertenecientes a los géneros antes citados posee escaso espesor: el calor emitido por el fuego afecta al cambium y al follaje, provocando la muerte de la estructura aérea de la planta. De acuerdo a las características del fuego y al diámetro de ramas y troncos, la leñosa puede quedar muerta en pie o consumirse totalmente (Figura 2). La importancia de los residuos muertos en pie queda de manifiesto en la definición de Feldman (1976) de 'maleza leñosa: *aquellas especies cuya estructura permanece en pie aún después de muerta, limitando el acceso y el tránsito*. Este material puede ser consumido en sucesivas quemas.

Las especies leñosas del Chaco están adaptadas al régimen de fuego de la región, por lo tanto, éste rara vez produce la muerte total de los

individuos. Así, Wright y Bailey, (1982), Trollope, y Tainton (1986), y Kunst *et al.*, (2001) informan que menos del 2% de las plantas pertenecientes a los géneros *Prosopis* y *Acacia* mueren completamente luego de un fuego. En general, las especies de estos géneros poseen yemas durmientes ubicadas en la zona del cuello de las plantas, debajo de la superficie del suelo y protegidas de la radiación, que les permiten rebrotar y reconstruir el canopeo. El fuego, actuando con una frecuencia e intensidad adecuadas, no elimina las leñosas, sino las que las 'controla' (Kunst *et al.*, 2001).

Para que el fuego ejerza un control eficiente de las leñosas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos (Wright y Bailey, 1982; Trollope, 1984 a y b; Kunst *et al.*, 2001):

- las leñosas deben ser individuos jóvenes, los diámetros de troncos y ramas no deben superar los 3 cm y su altura no debe ser superior a los 2-2,50 m (Wright y Bailey, 1982, Trollope, 1984a y b, Trollope y Tainton, 1986);

- los fuegos deben ser de alta intensidad, superior a los 2000 kW.m⁻¹, es decir que la cantidad de combustible presente debe ser igual o superior a los 3000 -4000 kg MS.ha⁻¹. A mayor intensidad de fuego, mayor daño a la estructura aérea de las leñosas, especialmente por efectos



Figura 2 a) Efecto del fuego en leñosas: muerte de la estructura aérea. b) A pesar del fuego, quedan en pie ramas y troncos que pueden ser consumidos en sucesivas quemas

convectivos (Ansley *et al.*, 1998). Con esta intensidad, el largo de llamas es mayor a los 3 m, lo que indica la necesidad de trabajar con buenos cortafuegos.

- estado fenológico y fisiológico de la(s) leñosa(s) apropiado para alcanzar el objetivo del tratamiento.

Las condiciones ambientales para conseguir el tipo de fuego arriba descrito se ubican en el extremo más severo de los cuadrantes de prescripción (Figura 1), es decir:

- * Temperatura del aire entre 20 y 30 °C,
- * Velocidad del viento entre 12-25 km.h⁻¹, y
- * Humedad relativa del aire entre 25 y 35 %.

Esto obliga a extremar las normas y prácticas relacionadas a la seguridad para evitar una expansión del fuego sin control.

El estado fisiológico de las leñosas cambia a lo largo de la estación de quemadura debido a las condiciones ambientales: al principio de la misma, las arbustivas se encuentran en receso vegetativo y hacia el final, en la etapa de brotación activa y algunas en floración. Kunst *et al.*, (2001) informan que el mejor control con fuego de *Acacia aroma* (tusca) se obtiene en quemaduras tardías, cuando las reservas de las plantas se encontrarían en un nivel mínimo producto de la migración de las mismas hacia la parte aérea para recomponer el canopeo después del período de receso vegetativo.

Se ha alcanzado el objetivo de 'control' cuando se produce el menor número de rebrotes post-fuego y mayor reducción del canopeo de las plantas (Figura 3). Un solo fuego puede no ser suficiente para controlar las leñosas y reducir su in-

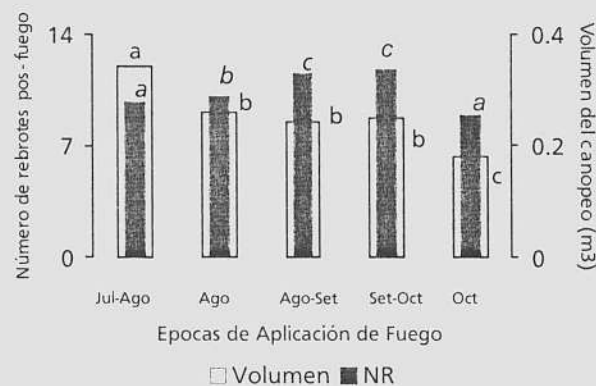


Figura 3. Control de *Acacia aroma* (tusca) en distintas épocas de fuego en la región chaqueña occidental. 'Control' se define como el menor número de rebrotes post-fuego (NR) y el menor volumen de canopeo (Volumen) observados hasta tres años después de la quema (adaptado de Kunst *et al.*, 2000). Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas, $p < 0,05$.

terferencia en actividades agronómicas. Un intervalo de fuego semejante al existente en otras áreas de pastizales naturales de la región (3-4 años) sería lo recomendable, ya que no afectaría las propiedades del suelo (González *et al.*, 2001)

4.2. Eliminación de tejido muerto y seco

Este uso del fuego es el más antiguo a nivel universal y data de épocas prehistóricas (Danckwerts, sin fecha, Craig, 1997). Por diversas razones, puede acumularse biomasa seca en los pastizales y sabanas (Figuras 4a y b). Esta biomasa no es forraje, y es rechazada o poco consumida por los animales domésticos debido a una limitante en el consumo voluntario (efecto físico de llenado ruminal). Por otra parte, el exceso de mantillo y/o material muerto impide la entrada de luz solar al suelo, limitando el reciclaje de la materia orgánica y la germinación de semillas debido a las bajas temperaturas, lo que incide negativamente en la diversidad de sabanas y pastizales (Kunst *et al.*, 2003). En especies *subtropicales* es también común la acumulación de cañas que impiden la accesibilidad al forraje. El uso de desmalezadoras puede ser impedido por la presencia de árboles y/o arbustos aislados o en isletas.

En estos casos el fuego puede ser una herramienta a aplicar, debido a su rapidez y economía. Si el objetivo es solo la eliminación de biomasa seca y muerta, no es necesario emplear fuegos de alta intensidad que pueden ser peligrosos de manejar por los potenciales escapes: un fuego 'frío', ubicado en la parte menos peligrosa de la ventana de prescripción permite lograr los objetivos deseados, con las siguientes condiciones meteorológicas:

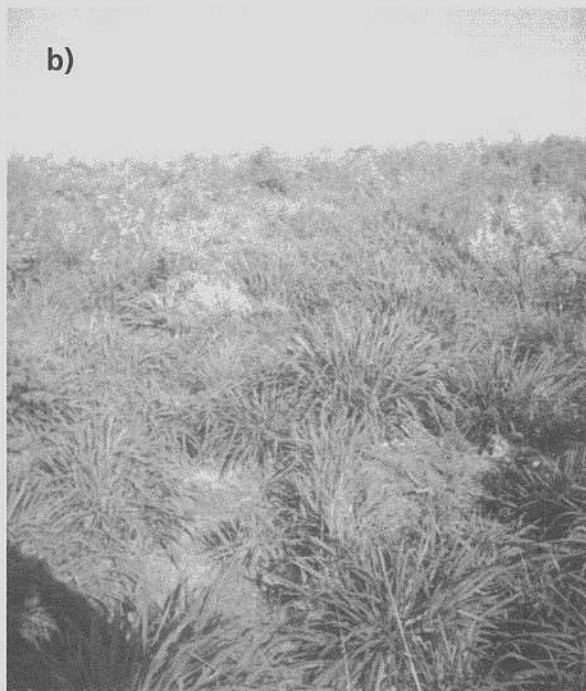
- * La temperatura del aire no mayor a 20 °C,
- * La velocidad del viento entre 12-25 km.h⁻¹, y
- * La humedad relativa del aire entre 40-60 %.

La época factible de aplicación de fuego en la región chaqueña es a principios-medios de la temporada de fuego, o luego de una lluvia que aumente la humedad relativa del aire. El impacto del fuego al remover el material viejo y muerto sobre la calidad de la oferta de forraje es significativo: Cornacchione *et al.*, (2001) informan un 16 % de proteína bruta en áreas quemadas en comparación con 7-8 % en sectores sin tratar (Figura 5).

La acumulación de biomasa se presenta generalmente en el centro-este y sur de la región chaqueña, en los bajos submeridionales y en los bañados de los ríos Dulce y Salado. En estos lugares, la dominancia del 'pajonal' puede ser controlada mediante la aplicación de fuego, como en otros lugares del país. Las prescripciones son similares a las expresadas.



Figura 4 a). Acumulación de biomasa seca en pasturas naturales de la región chaqueña, que produce 'estancamiento' de las comunidades. b) El fuego rejuvenece a las pasturas y genera nuevo forraje.



La quema en manchones puede emplearse para reducir la dominancia de pajas, promover 'forraje' y al mismo tiempo manejar el pastoreo.

La frecuencia de quema recomendable es un fuego cada 3-4 años, de ninguna manera es recomendable una quema anual ya que ello significaría cambiar radicalmente el régimen de fuego, con el consiguiente deterioro al ecosistema en general (suelos y vegetación).

4.3 Eliminación de residuos de rolados

El fuego y descanso de pasturas pueden no ser herramientas efectivas para recuperar la oferta de forraje de las pasturas naturales degradadas por exceso de densidad y cobertura de leñosas. En ese caso, el pasaje de un rolo puede ser la opción adecuada. El rolo es un cilindro de metal de diámetro 1,3-1,5 m y ancho 2-3 m, que se llena de agua hasta los 2000-2500 kg y es arrastra-

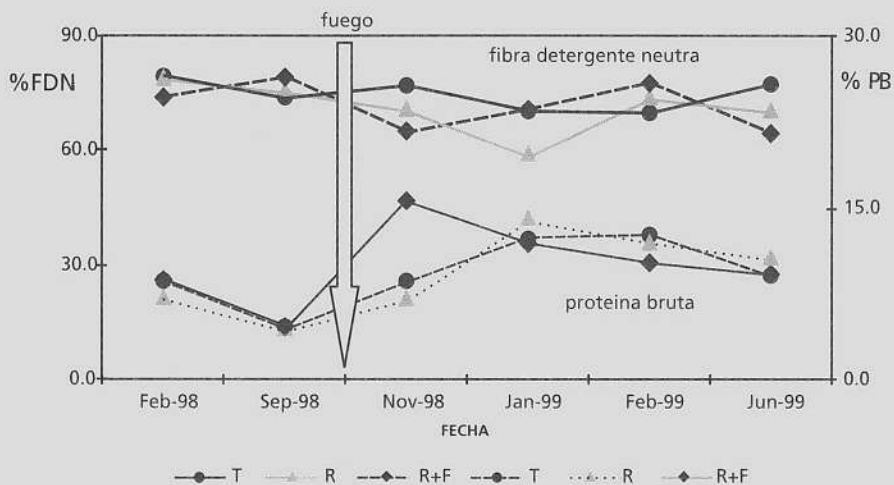


Figura 5. Efecto del fuego sobre la calidad de pasturas. Modificado de Cornacchione *et al.*, 2001

do por topadoras y/o tractores duales, aplastando la vegetación leñosa y generando una sucesión secundaria. El 'rolado' es generalmente acompañado con la siembra de especies subtropicales, principalmente *Panicum maximum* cv *trichoglume*, cv Gattón panic y Green panic.

En rolados el fuego puede ser empleado para (a) completar la 'habilitación', eliminando los residuos leñosos, facilitando tránsito y accesibilidad, y (b) para control de arbustivas luego de unos años. Los árboles que quedan luego del rolado deben mantenerse, de lo posible, intactos o sufrir daño mínimo.

Los 'rolados' representan una problemática especial en el manejo del fuego por la mayor carga de combustible por unidad de superficie de dos orígenes: leñoso por unidad de superficie y mayor carga de combustible fino por la presencia de especies subtropicales, que puede alcanzar en conjunto 10-30 ton.ha⁻¹ (Platt y Gottschalk, 2001, Kunst observación personal). Los fuegos pasan automáticamente a poseer mayor intensidad y severidad (Figura 6)

La investigación tendiente al manejo de fuego en estos ambientes aún está en desarrollo, pero conviene enunciar algunas recomendaciones:

- Si el rolado posee objetivos ganaderos, evitar de 'voltear' demasiados árboles para no aumentar la carga de combustible grueso.
- Evitar quemar residuo vegetal verde –la 'leña'– recientemente cortada posee la mayor

cantidad de sustancias aromáticas, lo que otorga al fuego mayor intensidad y severidad. Lo óptimo sería que los residuos se degraden

- Seleccionar el momento apropiado de quema para reducir parcialmente la carga de combustibles medianos y gruesos. El consumo depende del diámetro y del contenido de humedad del mismo (Mc Pherson y Wright 1986). Estudios de la dinámica del contenido de humedad indican que en residuos de quebracho blanco, por ej., la 'mejor' época de quema prescripta para reducción de carga sería hacia principios de la temporada de fuego, debido a su mayor contenido de humedad (Figura 7).

- Quemar por bloques de tamaño mediano, 50-100 has, evitando grandes superficies adonde el fuego puede ser inmanejable.

- Quemar en los cuadrantes menos severos de la prescripción.

La técnicas de ignición a emplear dependerán de las circunstancias climáticas y la continuidad del combustible. No existe una recomendación específica al respecto.

4.4. Control de la cobertura de pajas

El objetivo del fuego en este caso es la reducción de la biomasa de la especie dominante. Un fuego en retroceso en el cuadrante más severo de la prescripción puede cumplir con esos objetivos.



Figura 6. Efecto de fuego de alta intensidad y severidad en rolados: esterilización de suelos y pérdida de plantas.

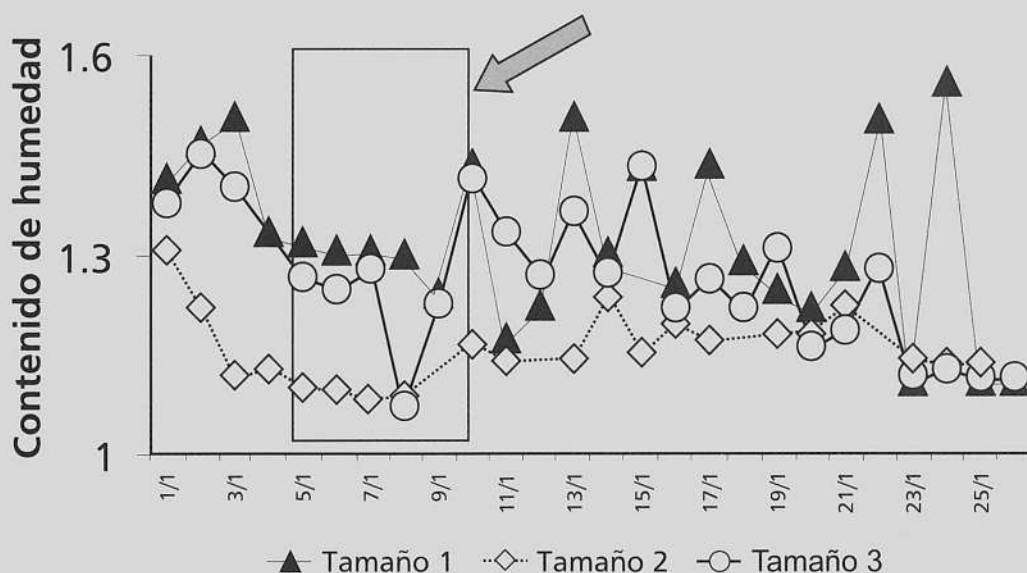


Figura 7. Dinámica del contenido de humedad en tres tamaños de residuos de quebracho blanco enrollado a lo largo del tiempo. La flecha indica la temporada de quema en la región chaqueña. Tamaño 1 : diámetro hasta 2 cm; Tamaño 2: entre 2 y 5 cm; Tamaño 3: más de 5 cm. Campo Experimental 'La María', INTA EEA Sgo del Estero.

5. Manejo posterior a la aplicación del fuego

El manejo de las áreas quemadas con posterioridad a la aplicación del fuego es esencial para amortiguar los efectos negativos y obtener el máximo beneficio de los positivos. La bibliografía y la experiencia sugieren que para los objetivos tratados anteriormente el descanso es un elemento fundamental a fin de que los pastos rebroten sin interferencia, las plántulas se desarrollen sin problemas y el suelo vuelva a ser cubierto (Wright y Bailey, 1982). Existe controversia en ganaderos sobre el período de descanso

con el objetivo (b), pero el mismo debe aplicarse por lo menos durante la primera parte de la estación de crecimiento.

6. Consideraciones finales

El fuego 'crea' forraje y áreas aptas para la ganadería, al facilitar el acceso y el tránsito de personas y animales. Sin embargo el fuego debe aplicarse criteriosamente, con objetivos y técnicas específicas, evitándose los extremos más peligrosos de la prescripción, o trabajando con normas de seguridad apropiadas.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen a los señores Adolfo Güiraldes y Guillermo Pasch, por su apoyo en la investigación en fuegos prescritos en la región chaqueña.

8. Bibliografía

Ansley R, D Jones, T Tunnell, B Kramp y P Jacoby. 1998. Honey mesquite canopy responses to single winter fires: relations to herbaceous fuel, weather and fire temperatures. *International Journal of Wildland Fire* 8: 241-252.

- Bravo S., C. Kunst, A. Giménez y G. Moglia. 2001. Fire Regime of a *Elionorus muticus* Spreng Savanna, Western Chaco Region Argentina. *International Journal of Wildland Fire* 10: 65-72.
- Cabido M. y M. Zak. 1999. Vegetación del norte de Córdoba. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Naturales de Córdoba, Córdoba.
- Cornacchione M., Kunst C. y Argañaraz M. 2001. Prácticas de control del fachinal: II. Efectos sobre la calidad del forraje disponible. *Memorias 1er Congreso de Pastizales Naturales. Asoc. Arg. Manejo Pastizales Naturales* 84-85.
- Craig A. 1997. A review of information on the effects of fire in relation to the management of rangelands in the Kimberley high-rainfall zone. *Tropical Grasslands* 31: 161-187.
- Feldman I. 1976. Consideraciones acerca de una definición de una maleza leñosa. pp. 60-61. *Resúmenes VII Reunión Argentina de Malezas y su Control Vol. 4.*
- Gonzalez C., G. Studdert, C. Kunst y A. Albanesi. 2002. Comportamiento de algunas propiedades del suelo en una sabana del Chaco semiárido occidental bajo distintas frecuencias de fuego. *Ciencia del Suelo* 19: 92 - 100.
- Kunst C., M. Cornacchione y J. Godoy. 2001. Prácticas de control del fachinal I: efectos sobre la oferta de forraje. p. 87-88. *Asoc. Arg. Manejo de Pastizales Naturales. Memoria 1er Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. San Cristóbal, Santa Fe.*
- Kunst C. S. Bravo, F. Moscovich, J. Herrera, J. Godoy y S. Vélez. 2002. Fecha de aplicación de fuego y diversidad de herbáceas en una sabana de *Elionorus muticus* (Spreng) O. Kuntze. *Rev. Chilena de Historia Natural. Aceptado para su publicación.*
- Kunst C., S. Bravo, F. Moscovich, J. Herrera, J. Godoy y S. Vélez. 2000. Control de tusca (*Acacia aroma* Gill ap. H. et A.) mediante fuego prescrito. *Rev. Arg. de Producción Animal* 20: 199-213.
- Leigh J. and J. Noble. 1981. The role of fire in the management of rangelands in Australia. Cap. 20., p. 471-495. In: A. M. Gill, R. Groves and I. Noble: *Fire and the Australian biota. Aust. Acad. of Sciences, Canberra.*
- Mc Pherson G. y H. Wright. 1986. Threshold requirements for burning downed honey mesquite. *Journal of Range Management* 39: 327-330.
- Morello J. 1968. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Vol. I: *Objetivos y metodología. Colección Científica Serie Fitogeográfica* 10. INTA. Bs. As.
- Papadakis J. 1951. Posibilidades agrícolas de La Rioja, Catamarca, Tucumán, Salta, Jujuy, Corrientes, Santiago del Estero, sudoeste de Buenos Aires, sudeste de La Pampa y nordeste de Río Negro. *Ministerio de Agricultura y Ganadería, Buenos Aires.* 230 p.
- Platt W. y R. Gottschalk. 2001. Effects of exotic grasses on potential fine loads in the groundcover of south Florida slash pine savannas. *International Journal of Wildland Fire* 10: 155-159.
- Rasmussen, G., C. Scifres y D. Drawe, D. 1983. Huisache growth, browse quality and use following burning. *J. Range Management* 36: 337-342.
- Trollope W. y N. Tainton. 1986. Effect of fire intensity on the grass and bush components of the eastern Cape thornveld. *Journal of the Grassland Soc. of Southern Africa* 3: 37-42.
- Trollope W. 1984a. Fire in savanna. Cap. 7. pp. 149-197. In: P. de V. Booysen and N. Tainton (eds): *Ecological effects of fire in South African Ecosystems. Springer Verlag. Berlin.* 426 p.
- Trollope W. 1984b. Fire behaviour. Cap. 9. p. 199. In: P. de V. Booysen and N. Tainton (eds): *Ecological effects of fire in South African Ecosystems. Springer Verlag. Berlin.* 426 p.
- Van Auken O. 2000. Shrub invasions of North American semiarid grasslands. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 31: 197-215
- Wright H. and A. Bailey. *Fire ecology in the United States and Canada. J. Wiley and Sons, N. Y.,* 501 p.

Capítulo 22

Fuego prescrito en pastizales naturales de la Pampa Deprimida Bonaerense

Mónica Sacido¹



Uso del fuego en un pajonal Foto: M. Sacido

¹ Facultad de Agronomía- Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires e-mail: msacido@faa.unicen.edu.ar

1. Introducción

1.1. Caracterización de la Pampa Deprimida Bonaerense

Para poder interpretar el estado actual de la vegetación es necesario conocer las causas que han generado las transformaciones a lo largo de la historia y el impacto del fuego prescripto.

La Pampa Deprimida es una región de la República Argentina, que abarca 9.000.000 ha, equivalente al 30 % de la superficie de la provincia de Buenos Aires. Se caracteriza por la falta total de vegetación arbórea y la preponderancia de pastizales, bastante uniformes desde el punto de vista fisonómico a pesar de la heterogeneidad en sus suelos y en sus usos.

La región tiene un clima sub-húmedo-húmedo (Vervoorst, 1967), con temperaturas media anual entre 13 y 16 °C y precipitaciones entre 800 y 900 mm. Los suelos Molisoles, (Natracuoles, Hapludoles), y Natracualfes (CIRN, 1989) y su aptitud global se corresponde con un uso ganadero, existiendo áreas mixtas con aptitud ganadera-agrícola. Presentan falta de homogeneidad en sus características estructurales y funcionales (Rimoldi, 1992) y sus mayores limitantes son la alcalinidad por sodio, el drenaje deficiente y la presencia de la napa freática a poca profundidad (Tricart, 1973).

El 80 % de la superficie de la provincia de Buenos Aires se encuentra cubierta por pastizales naturales (León *et al.*, 1984), aunque los mismos presentan desde fines del siglo XIX un fuerte grado de transformación (Vervoorst, 1967). Diversos autores como Parodi (1947), Cabrera (1949), Vervoorst (1967), León (1975) y León *et al.*, 1985) han clasificado de diferentes maneras la vegetación de esta región, determinando que las comunidades vegetales no abarcan un área bien delimitadas sino que se alternan y superponen unas con otras formando un verdadero mosaico, donde se manifiestan diferencias en relación a las respuestas a los disturbios provocados por la actividad humana.

A pesar de las restricciones naturales que presenta, su potencialidad como área eminentemente ganadera es alta debido a la presencia de pastizales naturales especialmente adaptados a las condiciones ambientales de la región. Históricamente se han desarrollado sistemas de producción extensivos sin adecuación de la carga animal y con bajo nivel tecnológico asociado a las necesidades financieras coyunturales. Esto ha generado la degradación forrajera del pastizal natural caracterizada por la disminución de las gramíneas invernales, el incremento en la proporción de las malezas (especialmente *Cynodon dactylon* "gramón") y del suelo desnudo. En esas condiciones el rendimiento promedio de carne

de la actividad cría es de 70 - 80 kg.ha⁻¹.año⁻¹ (IICA - INTA, 1988).

En los últimos años la Pampa Deprimida Bonaerense mejoró su productividad por la incorporación selectiva de innovaciones, tanto desde el punto de vista productivo como sanitario, consiguiéndose así 80 - 86 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de carne sobre pastizales naturales con alta frecuencia de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*, INTA 1991) y 120 a 140 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de carne sobre pasturas cultivadas o pastizales mejorados.

1.2. El ecosistema original

La vegetación pristina estaba predominantemente dominada por gramíneas de gran desarrollo en altura (*pajonales*), principalmente varias especies del género *Stipa* y *Paspalum quadrifarium* (Vervoorst, 1967; Walter, 1977), siendo actualmente un ecosistema relictual que funciona como refugio de la fauna típica asociada a este tipo de vegetación.

Cooper (citado por Ebelot, 1968) relataba que "la Pampa arde por lo menos una vez al año". Los incendios se practicaban para mejorar los pastizales. En esa época la Pampa era un macromosaico de pastizales anegadizos, pastizales *pirogénicos* de tierra firme, definidos por Ebelot, (1968) "como pastos de la Pampa Virgen, duros y amargos que el animal rechaza y no engorda, las principales especies acompañantes son heliotropos, verbenas, cortaderas y arvejillas". La fauna presentaba una gran diversidad de mamíferos, aves y armadillos.

1.3. Transformaciones históricas y sus causas

La zona estaba habitada en un principio por grupos de indígenas con economía de recolección, caza y pesca. En la segunda mitad del siglo XVI comienza la conquista y se produce la ocupación de la región siguiendo un largo período de colonizaciones dispersas.

La conquista del desierto, posteriormente la utilización del alambrado y los asentamientos humanos generaron transformaciones en la vegetación, especialmente debido a la acción combinada del fuego, del pastoreo, e incluso del arado, determinando la sustitución parcial de los pajonales por pastizales de pastos cortos, naturales o cultivados (Holmberg, 1883), proceso que toma impulso a partir de principios del siglo XIX (Vervoorst, 1967).

1.4. La acción del hombre:

La ganadería extensiva y el sobrepastoreo han producido una disminución de las especies forrajeras, el aumento de las no deseables y la generalización de malezas que utilizan los espacios y los nutrientes disponibles después de la quema. Se suma a ello el incremento de áreas con suelo desnudo, que genera una aceleración

de los procesos erosivos, y la disminución de material combustible, lo que conduce a la interrupción de los incendios periódicos.

Debido al escaso o nulo manejo de los pastizales, con sectores de sobrepastoreo y subpastoreo, se han perdido las especies más palatables, presentándose disminuciones en la diversidad específica y una oferta forrajera de baja calidad la mayor parte del año. La presencia de especies C4, predominantemente paja colorada (*Paspalum quadrifarium*), de alto porte y cobertura, impide el desarrollo de otras especies en el tapiz vegetal como las leguminosas. Se generan sectores con abundante material pirogénico y otros donde el sobrepastoreo no permite la acumulación de material combustible dificultando la conducción de fuegos prescritos. Esto da lugar a parches de vegetación de diferente calidad que generan variados patrones de uso.

La expresión actual de esta degradación puede sintetizarse en una disminución de gramíneas invernales y un incremento en la proporción de malezas y de suelo desnudo.

2. Fuego Prescrito: De lo natural a lo controlado

2. 1. El fuego como disturbio

El fuego era y es un evento natural y frecuente dentro de la Pampa Deprimida Bonaerense propiciado por la acumulación de miles de toneladas de combustible fino fácilmente inflamables. Esta problemática es común a otras regiones del mundo como Brasil, Colombia, Venezuela, Estado Unidos y diversos países de África donde existen antecedentes similares.

Los pajonales son sistemas herbáceos de muy fácil combustibilidad y susceptibles de quemarse. La falta de fuego produce un exceso de presión del ganado sobre las especies deseables y es una posible causa de la preponderancia de la paja colorada en esos sistemas. Las quemas permiten un descanso de las especies intrapajonal, más deseables para el ganado y obliga a la paja a convertirse momentáneamente en forrajera.

Existen antecedentes que muestran que las quemas espontáneas ocurren en momentos de máximo impacto ecológico lo que aumenta los daños a la fauna y eventualmente a la hacienda y bienes de los productores.

Los incendios surgen como una actividad derivada de la práctica pastoril, ya que el rebrote provee al ganado forraje tierno al cambiar la relación entre biomasa verde y seca en aquellas

gramíneas macollantes (Galera, 1978; Galera *et al.*, 1986). También se usa al fuego en forma no sistemática para mejorar la accesibilidad para el ganado, lo que ha sido ampliamente documentado por la literatura (Hobbs y Spowart, 1984; Deregibus *et al.*, 1989; Wright y Bailey, 1982). Sin embargo, subsisten limitantes importantes para lograr mejorar por esta vía las tasas de consumo y de utilización de nutrientes debido a la alta cantidad de fibra, los bajos niveles de proteína cruda y obviamente de digestibilidad que presentan normalmente estos pastizales, si no son quemados (Willms *et al.*, 1981, Hobbs y Spowart, 1984)

2.2 Fuego prescrito

La concepción de este tema ha evolucionado desde la consideración del fuego como un azote a la naturaleza hasta el de un factor que, convenientemente aplicado contribuye, mantiene o aumenta la biodiversidad, acelera los ciclos biogeoquímicos, aumenta la productividad en forma sustentable y mejora las condiciones de habitabilidad de vastos ambientes.

Se define al *fuego prescrito* como aquel aplicado de una manera determinada, por personal calificado, a cualquier tipo de combustibles en un área específica, bajo condiciones climáticas seleccionadas, a fin de lograr objetivos de manejo predeterminados, quedando confinado al área tratada.

El fuego prescrito se aplica en los momentos más adecuados desde el punto de vista ecológico y productivo a un sistema biológico de alta productividad primaria potencial y baja rentabilidad actual.

Las quemas producen un efecto benéfico en aspectos físicos del suelo, como infiltración y la relación agregación/porosidad (Castro, 1970). También se producen cambios en el perfil lumínico y la formación de una capa de cenizas y tejidos quemados que provoca una caída marcada en el coeficiente de reflexión (albedo). Esto lleva a que la superficie del suelo se comporte con las propiedades físicas de un cuerpo negro, lo que resulta en mayor absorción de radiación solar durante el día y mayores pérdidas por irradiación nocturna (Adámoli, 1993).

Con el transcurso de los días, después de la quema, el cambio en las características del canopeo en cantidad y calidad, afecta el microclima del pastizal y provee una protección para pequeñas plántulas de gramíneas y leguminosas, que comienzan a germinar a partir del banco de semillas (Sacido *et al.*, 1995). Se generan diferentes hábitats y una oferta diversa para herbívoros, frugívoros y nectários.

La quema aumenta la cantidad y calidad de luz en los estratos cercanos al suelo, la accesibilidad del forraje y facilita la implantación de otras

especies (Kunst, 1993; Sacido *et al.*, 1993; Littera *et al.*, 1993). Por ello, se observa habitualmente que durante el período post quema los espacios intermatas son ocupados por especies espontáneas (Houston, 1973; Kruger, 1984, Boó *et al.*, 1991 y 1993) y las malezas compiten con el establecimiento de las plántulas de *Lotus* incorporadas (Sacido *et al.*, 1995).

El moderado rebrote de las gramíneas después del fuego se produce por el aumento de las temperaturas en el área quemada durante las horas del día y por la mayor condensación de vapor durante la noche. Esto sumado a la caída de la temperatura nocturna, puede crear condiciones próximas al punto de rocío lo que facilita el contacto de las plantas con los nutrientes liberados por la quema favoreciendo el rebrote.

La mejor calidad del forraje puede deberse a una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno, a la sincronización de su liberación por parte de la biomasa microbiana y la absorción por la planta, a una extensión en la estación de crecimiento por el calentamiento temprano del suelo y la combinación de estas razones (Knapp y Seastedt, 1986; Ojima, 1988; García, 1992). Esto produce que las plantas formadas después de la quema presenten diferencias de color, estructura y composición química (McNaughton, 1984; Gordon, 1988). Los herbívoros pueden obtener beneficios nutricionales por pastorear áreas quemadas (Woolfolk *et al.*, 1975; Hobbs y Spowart, 1984; Svejcar, 1989) y resultan con frecuencia atraídos a aquellas áreas en donde se ve el efecto del fuego (Daubenmire 1968, Willms *et al.*, 1980 y 1981, Coppock y Detling, 1986).

Los cambios en la calidad con mejores condiciones de palatabilidad y mayor contenido de proteína bruta (Adamoli, 1993; Sacido *et al.*, 1993) posiblemente cumplan un papel indirecto a través del enriquecimiento de la flora del rumen que estimula a su vez el consumo voluntario. Se ha observado en situaciones donde el forraje ofertado presenta niveles inferiores al 8% de proteína bruta se limita la actividad microbiana del rumen con lo cual disminuyen la tasa de digestión y pasaje (Van Soest, 1982).

Las deficiencias minerales básicas en la Depresión del Salado son las debidas a contenidos bajos de P y Cu y constituyen las principales causas de pérdidas económicas. Estas deficiencias son difícilmente cuantificables por parte del productor debido a que se manifiestan por medio de menores ganancias de peso y alteraciones en la performance reproductiva con disminuciones en los porcentajes de preñez.

El pastoreo post-fuego mantiene la cobertura vegetal por debajo del umbral necesario aún para las especies que prefieren hábitats relativamente más abiertos. Entre los efectos se mani-

fiesta la reducción del número y densidad de especies de micromamíferos, cambios en la composición específica en las aves, la desaparición de las especies típicas del pastizal alto y la aparición de especies ecotonales, oportunistas y algunas típicas de pastizal bajo (Comparatore *et al.*, 1996).

3. Protocolo de fuego prescrito y plan de quema

La quema de pastizales tiene como objetivos: remover el material senescente y poco accesible, favorecer el rebrote de mayor calidad, acelerar el ciclo de nutrientes, cambiar la composición botánica del pastizal y favorecer el control de plagas y enfermedades animales.

Al planificar un fuego prescrito debe desarrollarse previamente un plan de quema teniendo en cuenta los objetivos y las características de la región. En nuestro caso el material a quemar es aportado mayoritariamente por la paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) especie C4 de crecimiento primavera-estival, que forma matas de 0,30 a 1,50 m, con baja calidad nutricional y preferencia (Rosengurt, 1949, Vervoort, 1987). Los pajonales cubren diversos tipos de suelos, desde argiudoles hasta natracuoles y su presencia en estos sistemas varía entre un 30 a un 50 % según zonas, con escasa participación de leguminosas naturales de valor forrajero.

3.1. Plan de quema

Teniendo en cuenta el estado del recurso se ha desarrollado el siguiente plan de quema:

1- Para qué quemar: Para mejorar la utilización de los pajonales de baja calidad y accesibilidad, incrementando la receptividad y para permitir la planificación de los descansos que favorezcan y promuevan especies de valor forrajero.

2- Qué quemar: todo aquel material que se quiera remover y que haya acumulado suficiente biomasa fina que permita conducir el fuego

3- Cómo: Respondiendo a las premisas del fuego prescrito detalladas a continuación

- A) La cantidad mínima de combustible fino a quemar no debe ser inferior a 4000 kg MS.ha⁻¹
- B) La humedad relativa entre 30 y 50 %
- C) La temperatura del aire entre 10 y 20 °C
- D) La velocidad del viento no debe superar los 15 km.h⁻¹
- E) Preferentemente después del mediodía
- F) El correcto trazado de los corta-fuegos (por quemas previas o con maquinarias, no menor a los 50 m)

4- Cuándo: Sobre la base de estudios que hemos realizado en la zona, la mejor época es primavera temprana, debido a que en ese momento las especies de ciclo primavera-verano de valor forrajero son favorecidas por los cambios en el perfil lumínico y la utilización de las cenizas para rebrotar o germinar.

5- Cuánto: La superficie posible de ser pastoreada con la carga adecuada.

Para que el fuego se expanda homogéneamente por todo el potrero, se inicia el fuego con cinco operarios en forma simultánea, en todos los sectores con el objeto de realizar una quema rápida y total de acuerdo al protocolo de fuego prescrito desarrollado anteriormente (Sacido *et al.*, 1993).

4. Alternativas de manejo aplicadas en la región en los últimos años y aportes del fuego prescrito

La aplicación de técnicas integradas de manejo y control puede contribuir en gran medida a la mejor protección de los pastizales, aumentando su productividad.

4.1. Fuego prescrito:

Mediante la aplicación de un protocolo de quema en un pastizal con preponderancia de *Paspalum quadrifarium* (paja colorada, Figuras 1 y 2) se logran cambios sustanciales en la calidad de la oferta forrajera postquema, alcanzando valores de proteína bruta de 12 %. Con el transcurso del tiempo la calidad de los rebrotes afectados positivamente por efecto del fuego, declinan con el avance de la estación de crecimiento (Figura 3). Se sugiere organizar los pastoreos según requerimientos del rodeo siguiendo la evolución de la calidad, ya que el uso del fuego permite satisfacer la demanda del rodeo de cría hasta 4 meses después de la quema (Sacido *et al.*, 1995).

El fuego genera, en aquellos sitios donde existe *Lotus sp* naturalizado en el banco de semillas, una cama de siembra con las cenizas y un perfil lumínico muy favorable que permite una exitosa implantación de esta especie. Se produce una oferta de forraje de calidad debido al aporte de *Lotus sp* de 300 kg.ha⁻¹ de proteína (21 % de PB) en comparación con los 100 kg.ha de proteína que se producen cuando está ausente (Sacido *et al.*, 1997).



Figura 1: (a) Vista de un pajonal de *Paspalum quadrifarium* (paja colorada), preparado para su quema, (b) Desarrollo del fuego en el mismo sitio con aplicación del protocolo del fuego prescrito, (c) irmediatamente luego del fuego y (d) cambio de fisonomía logrado con el fuego.

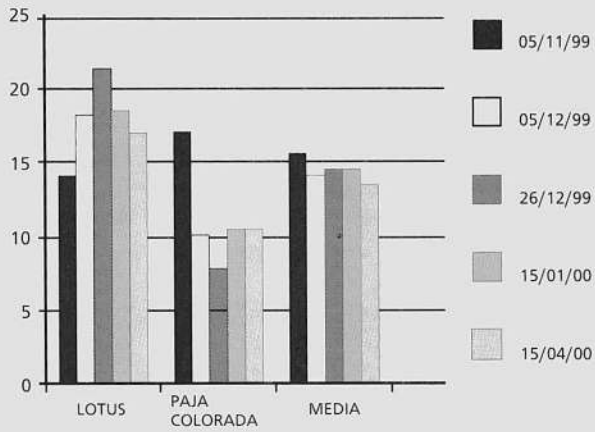


Figura 3: Evolución de los contenidos de proteína postquemada en paja colorada y Lotus

4.2. Siembras en cobertura de leguminosas postfuego prescripto

El objetivo es mejorar la cantidad y calidad de forrajes en áreas de baja aptitud productiva. Se han llevado a cabo experiencias con el fin de incorporar especies no nativas a los pastizales naturales. Los resultados muestran que *Lotus tenuis* pudo incorporarse satisfactoriamente, con alta eficiencia de implantación y persistencia (Sacido *et al.*, 1995).

4.3. Controles químicos en los sistemas sometidos a fuegos prescriptos

En primavera se realizaron diversos controles químicos sobre malezas provenientes de semilla y las de aquellas perennes que subsisten después del fuego. Los mejores resultados se obtuvieron con 2-4 DB y su mezcla con Dicamba, destacándose por su efectividad sobre los rebrotes postquemada de plantas establecidas de *Rumex crispus*. Además se destacó la aparición de especies de gramíneas forrajeras, predominantemente *Lolium multiflorum*. (Sacido *et al.*, 1995; Juan *et al.*, 1995, Tabla 1).

4.4. Descansos

De acuerdo a las evaluaciones que se realicen en los distintos sitios se implementan descansos estacionales de primavera - verano y descansos estacionales de otoño luego de una estación postfuego, con el objetivo de favorecer distintos grupos de especies o la producción de semillas destinadas a la formación del banco semillas del suelo. Esto tiene connotaciones importantes sobre la biodiversidad, el reciclaje de nutrientes, la supresión biológica de las plagas y enfermedades, el control del microclima local, la eliminación de compuestos tóxicos nocivos y la regulación de procesos hidrológicos (Altieri y Letorneau, 1992).

4.5. Sustentabilidad

El uso de indicadores de sustentabilidad como materia orgánica del suelo, monito-reo a largo plazo de la cobertura vegetal, de la composición florística, de la calidad de la oferta y la producción de carne del sistema luego de los disturbios, permiten evaluar las técnicas y estimar la sustentabilidad de la propuesta a corto y largo plazo (Sacido, 1999).

El mantenimiento de la biodiversidad y de los mecanismos de reciclaje de nutrientes, son claves para el diseño de agroecosistemas sustentables.

4.6. Sistemas de utilización

Se han medido incrementos en la biodiversidad que favorecen la estabilidad del sistema luego de los disturbios generados con el fuego prescripto y con los tratamientos químicos. Se ha observado también mayor actividad del suelo lo que puede evidenciarse a partir de las variaciones en los contenidos de materia orgánica (desde 3,5 % a 8,4 %), producción y calidad de la oferta por la participación de *Lotus* y una disminución en el suelo desnudo, expre-

Tabla 1: Resultados de la aplicación de las técnicas expresados en carga, ganancias diarias y kg.ha⁻¹ de carne (Sacido, 1999).

	Carga Animal (kg)		EV. ha ⁻¹	GPVD (kg)	Producción (kg)	
	Total	ha			Total	ha
Mejorado	22325	603,3	1,51	0,645	4730	127,8
Convencional	13720	370,8	0,93	0,390	2860	77,3
Diferencia	8605	232,5	0,58	0,255	1870	50,5

sándose este efecto en la productividad del sistema al lograrse incrementos en la producción de carne de ternero en kg.ha⁻¹ cercanos al 65 % (Sacido, 1999; Tabla 1).

De estos resultados surge la necesidad de realizar evaluaciones de disponibilidad que permitan optimizar la cosecha e integrar esta información, para definir el manejo que potencie el

sistema en su conjunto. Se determinó que se puede incrementar la producción secundaria en un rango del 25 a 35% sobre pastizales naturales.

La aplicación de tecnologías que contribuyan al aumento de la productividad sin comprometer la sustentabilidad es la base para un camino de transformación que contribuya efectivamente al desarrollo de la región.

5. Bibliografía

- Adamoli J. 1993. Análisis ecológico del fuego a escalas regional y local. Seminario Taller Inta, EEA, Santiago del Estero, Ecología y Manejo de Fuego en Ecosistemas Naturales y Modificados.
- Altieri M. y M. Letourneau. 1992. Vegetation arrangement and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*: 405-430.
- Bóo R., D. Peláez, O. Elía y M. Mayor. 1991. Mortalidad producida por el fuego en seis gramíneas nativas del sudeste de La Pampa. X Reunión de CAPERAS. Bahía blanca UNLP. 5(1):63-80.
- Bóo R., D. Peláez, O. Elía y M. Mayor. 1993. Efectos del fuego en gramíneas del Sudeste de La Pampa. XVI Reunión Argentina de Ecología. Puerto Madryn, 1993.
- Bóo R. 1990. Algunos aspectos a considerar en el empleo del fuego. *Rev. Fac. Agronomía UNLP*. 5(1):63-80.
- Cabrera A. 1949. Las comunidades vegetales de los alrededores de La Plata. *Lilloa* 20: 269-376.
- CIRN 1989. Instituto de Evaluación de Tierras. INTA-SAGyP. Mapa de Suelos de la Provincia de Bs As.
- Comparatore V., M. Martínez; A. Vassallo, M. Barg y J. Isacch. 1996. Abundancia y relaciones con el hábitat de aves y mamíferos en pastizales de *Paspalum quadrifarium* (Paja colorada) manejados con fuego (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Interciencia* 21: 228-237.
- Coppock D. y J. Detling, 1986. Alteration of bison and black-tailed prairie dog grazing interaction by prescribed burning. *Journal of Wildlife Management* 50: 452-455.
- Daubenmire R. 1968. Ecology of fire in grasslands. *Advances in Ecological Research* 5:209-266.
- Deregibus V.; M. Fariña Vaccarezza y R. Baliña. 1989. Estructura y función de pajonales de *Paspalum quadrifarium* quemados. Resúmenes de la XIV Reunión de Ecología, Jujuy. Argentina.
- Ebelot A. 1968. Recuerdos y Relatos de la guerra de Fronteras. Edición Plus Ultra.
- Galera F., E. Alessandria y R. Luti. 1986. Efecto de las actividades humanas sobre los ecosistemas. *MAB 6* :417-444. Unesco/MAB-PNUMA. CERNAR, 1986.
- Galera F. 1978. Incendio y pastoreo en estepas de altura de las Sierras Chicas de Córdoba. *Ecología* 3:95-99.
- García F. 1992. Carbon and Nitrogen dynamics and microbial ecology in tall grass prairie. PhD. Dissertation. Kansas State University. Manhattan Kansas.
- Gordon I. 1988. Facilitation of red deer grazing by cattle and its impact on red deer performance. *Journal of Applied Ecology* 25: 1-10.
- Hobbs N. y R. Spowart. 1987. Effects of prescribed fire on nutrition of mountain sheep and mule deer during winter and spring. *Journal of Wildlife Management*, 48:551-560.
- Holmberg E. 1883. *Ojeada sobre la flora*. En: Censo general de la Provincia de Buenos Aires 1881: 56-68.
- Houston D. 1973. Wildfires in Northern Yellowstone National Park. *Ecology* 54: 1111-1117.
- INTA-CIRN. 1989. Mapa de suelos de la Pcia. de Buenos Aires. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Proyecto PNUD. Bs As. Argentina 85/019, 525 pp.
- Knapp M. y J. Seastedt. 1986. Detritus accumulation limits productivity of tallgrass prairie. *Bioscience* 36: 662-668.
- Kruger F. 1984. Effects of fire on vegetation structure and dynamics, en *Ecological Effects of fire in South African Ecosystems*. Ecological studies. Vol. 48. 219-243. Springer- Verlag. Berlín.
- Kunst C. 1993. Fuegos prescriptos: consideraciones técnicas y prácticas para su investigación e implementación. p. 24-40. En C. Kunst, A. Sipowicz, N. Maceira y S. Bravo (eds) *Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados*. Seminario-Taller. INTA EEA. Santiago del Estero. Argentina.

- Laterra P., L. Ricci, O. Vignolio y O. Fernández. 1994. Efectos del fuego y pastoreo sobre la regeneración por semillas de *Paspalum quadrifarium* en la Pampa Deprimida. *Ecología Austral* 4:301-9.
- León R., (ex aequo) M. Agnusdei, S. Burkart, R. Fernández Grecco, C. Movia, M. Oesterheld, S. Perelman y G. Rusch. 1985. Las comunidades herbáceas al sur de la Depresión del Salado. XIIª Reunión Argentina de Ecología. A-45.
- León R. 1975. Las comunidades herbáceas de la Región Castelli-Pila. Monografía 5. Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires. La Plata, 75-107.
- León R. 1991. Vegetation En Ch. 19: A. Soriano: Río de la Plata Grasslands. En: R. Coupland (ed.). *Natural Grasslands*, Elsevier. Amsterdam.
- León R.; G. Rusch, y M. Oesterheld. 1984. Pastizales pampeanos - impacto agropecuario. *Phytocoenología* 12: 201-218.
- McNaughton S. 1984. Grazing lawns: animals in herds, plantform and coevolution. *American Naturalist* 124:259-294.
- Ojima D. 1988. The short-term and long-term effects of burning on tallgrass ecosystem properties and dynamics. Dissertation, Colorado State university, Fort Collins, Colorado, USA.
- Parodi L. 1947. La estepa pampeana. En: L. Hauman, A. Burkart, L. Parodi y A. Cabrera (eds). *La vegetación de la Argentina. Geografía de la República Argentina*, GAEA. Tomo VIII.
- Rimoldi P. 1992. Productividad primaria neta aérea de tres estructuras de vegetación de una comunidad húmeda del pastizal, en condiciones de pastoreo. Tesis Magister Scientiae. Fac. Cs. Agr. Balcarce. UNMdP, 82 pp.
- Rosengurtt B. 1949. Praderas Naturales, los problemas de su manejo. Apartado de la Revista de la asociación de Ingenieros Agrónomos N 86-87. Montevideo.
- Sacido M. y M. Cauhépé, 1993. Uso del fuego en pastizales: efecto sobre la calidad de los rebrotes. En C. Kunst. (Eds.) *Memoria de Seminario-Taller: Ecología y Manejo del Fuego en Ecosistemas Naturales y Modificados*. EEA, Sgo del Estero (INTA).
- Sacido M., L. Hidalgo y M. Cauhépé. 1995 Efecto del fuego y la defoliación sobre el valor nutritivo de matas de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) Memorias XIV Reunión ALPA. 19 Congreso AAPA 143-147.
- Sacido M., V. Juan, L. Monterroso ex aequo y M. Cauhépé. 2000. Postburning legume seeding in the Flooding Pampas, Argentina. *J. Range Manage*, 53:302-306.
- Sacido M. 1999 Relationship between floristic composition and soil in a managed ecosystem in Argentina. *Proceedings of the VI International Rangeland Congress*, Vol 2: 1036-1037.
- Sacido, M., V. Juan, M. A. Cauhépé y L. Monterroso. 1995. Variaciones en la composición florística de un pastizal por efecto de quema, siembra de *Lotus tenuis* y controles químicos. INIA Uruguay. Serie Técnica N° 56, 339-345.
- Svejcar T. 1989. Animal performance and diet quality as influenced by burning on tallgrass prairie. *Journal of Range Management* 42:11-15.
- Voorst F. 1967. La vegetación de la República Argentina VII. Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado. INTA. Serie fitogeográfica N° 7. 262 pp.
- Walter H. 1977. *Zonas de vegetación y clima*. Edición Omega, Barcelona.
- Willms W., A. Bailey y A. Mc Lean. 1980. Effect of burning or clipping *Agropyron spicatum* in the autumn on the spring foraging behavior of mule deer and cattle. *Journal of Applied Ecology* 17: 69-84.
- Willms W., A. Bailey y C. Kalnin 1981. Effects of fall clipping or burning on the distribution of chemical constituents in Bluenbunch wheatgrass in spring. *J. Range Management* 34: 267-269.
- Woolfolk I., E. Smith, R. Schalles, B. Brent, L. Harbers y C. Owensby. 1975. Effect of nitrogen fertilization and late-spring burning of bluestem range on diet and performance of steers. *Journal of Range Management* 28:190-193.
- Wright H. y A. Bailey. 1982. *Fire Ecology*. J. Wiley & Sons, Inc. New York. 495 p.

El fuego en la provincia de La Pampa

Enrique M. Llorens¹ y Ernesto O. Frank²



Quema que afecta alambrado. Foto: E. O. Frank

¹ Dirección de Extensión Agropecuaria de la Provincia de La Pampa, La Pampa e-mail: ellorens@cevic.com.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Agencia de Extensión Rural Victorica, La Pampa e-mail: efrank@cpenet.com.ar

1. Introducción

En el presente capítulo trataremos el efecto del fuego en dos tipos fisonómicos de vegetación de la Provincia: de La Pampa el caldenal y los pastizales psamófilos, donde se concentra la mayor cantidad de hacienda bovina de cría. Hacia el este, en la zona de la estepa pampeana, la importancia del fuego resulta mucho menor, ya que existen otras herramientas al alcance del productor agropecuario y, por otra parte, el peligro de incendios rurales es mínimo. Más hacia el oeste de las zonas que estudiaremos, la normalmente escasa cantidad de combustible hace que el fuego no pueda ser usado o los fuegos naturales no se propaguen. Sin embargo el aumento de precipitaciones en los últimos años incrementó la cantidad de combustible fino en forma notable. Es así como al finalizar la década del '90 ocurrieron incendios de gran magnitud. Sin embargo la ausencia de información sobre el fuego en estas áreas marginales hace imposible su tratamiento, aunque muchos de los conceptos que se tratan en este capítulo, parecería que podrían ser aplicables a esta última área.

1.1. Bosque de Caldén: descripción del área

El bosque de caldén se encuentra en la región central de la Provincia de La Pampa y sudeste de San Luis, entre las isohietas de los 400 y 550 mm, ocupando una superficie aproximada de 4.000.000 de hectáreas. Originariamente era un bosque de aspecto sabánico, dominado por el caldén (*Prosopis caldenia* Burk) con una densidad baja de arbustos. El estrato herbáceo estaba constituido por gramíneas bajas de ciclo otoño invierno primaveral (invernales), dominado por la poa o unquillo (*Poa ligularis* Ness).

La colonización, ocurrida en los últimos 100 años, produjo profundos cambios en la estructura de la vegetación y el paisaje. El sobrepastoreo debilitó las especies gramíneas y herbáceas de las comunidades prístinas. Los espacios dejados por éstas fueron ocupados en un primer momento por otras especies también bajas e invernales, como las flechillas (*Piptochaetium napostaense* Speg. y *Stipa tenuis* Philippi). Al continuar el sobrepastoreo, éstas fueron sustituidas por otras de mayor tamaño que escapan al pastoreo por su mayor contenido de fibra, vulgarmente llamadas pajas, como *Achnatherum brachychaetum* (= *Stipa brachychaeta*), *Nassella tenuissima* (= *Stipa tenuissima*), *Jarava ichu* (= *Stipa ichu*). El dominio del estrato gramíneo-herbáceo por éstas es-

pecies aumentó la cantidad de combustible fino, tornándose varias veces superior al original.

La colonización produjo también importantes cambios en el estrato leñoso. Por un lado la explotación de los productos forestales eliminó los mejores ejemplares del bosque y, junto a la disminución de la cobertura de las gramíneas originarias, permitió la implantación de leñosas (Peláez, *et al.*, 1992) y un aumento en la densidad de las mismas (Dussart *et al.*, 1998). En este último contribuyó también la diseminación endozooica de la semilla de caldén con la presencia del ganado.

1.2. Efecto del fuego

1.2.1. Generalidades

El estrato gramíneo-herbáceo, que caracterizaba al sistema original, completaba su ciclo en diciembre en coincidencia con el semestre cálido, en el que las tormentas con descargas eléctricas no siempre producían precipitaciones. Por ello, los fuegos naturales en el caldenal tenían las siguientes características:

- Ocurrencia: cuando disminuía el contenido de humedad en las especies originales (desde diciembre a marzo).
- Superficie: generalmente áreas dilatadas al no existir barreras artificiales.
- Intensidad: baja intensidad calórica y altura de llama por tratarse de especies de porte bajo.

Este tipo de fuego resultó ser un factor decisivo en la modelación del paisaje. Las tres características fueron modificadas. La sustitución de las forrajeras bajas por las pajas, el consecuente aumento de material combustible fino y senescente, más la continuidad vertical del mismo que produjo la arbustización, se tradujo en incendios recurrentes en cualquier época del año, de elevada intensidad calórica y mayor altura de llama. Se alteraron también los patrones espaciales a raíz de la supresión de los fuegos naturales y el trazado de caminos y contrafuegos, lo que produjo además una mayor acumulación de combustible (Fig. 1). Como se observa en el diagrama, el pastoreo desencadena una serie de factores que se sinergizan y que indefectiblemente terminan en el incendio cuando se dan las condiciones meteorológicas propicias para el desarrollo del fuego, a menos que quemas programadas interrumpan el ciclo. También se observa que el proceso se retroalimenta al debilitarse las especies bajas originales cuando disminuye la cantidad y calidad de luz.

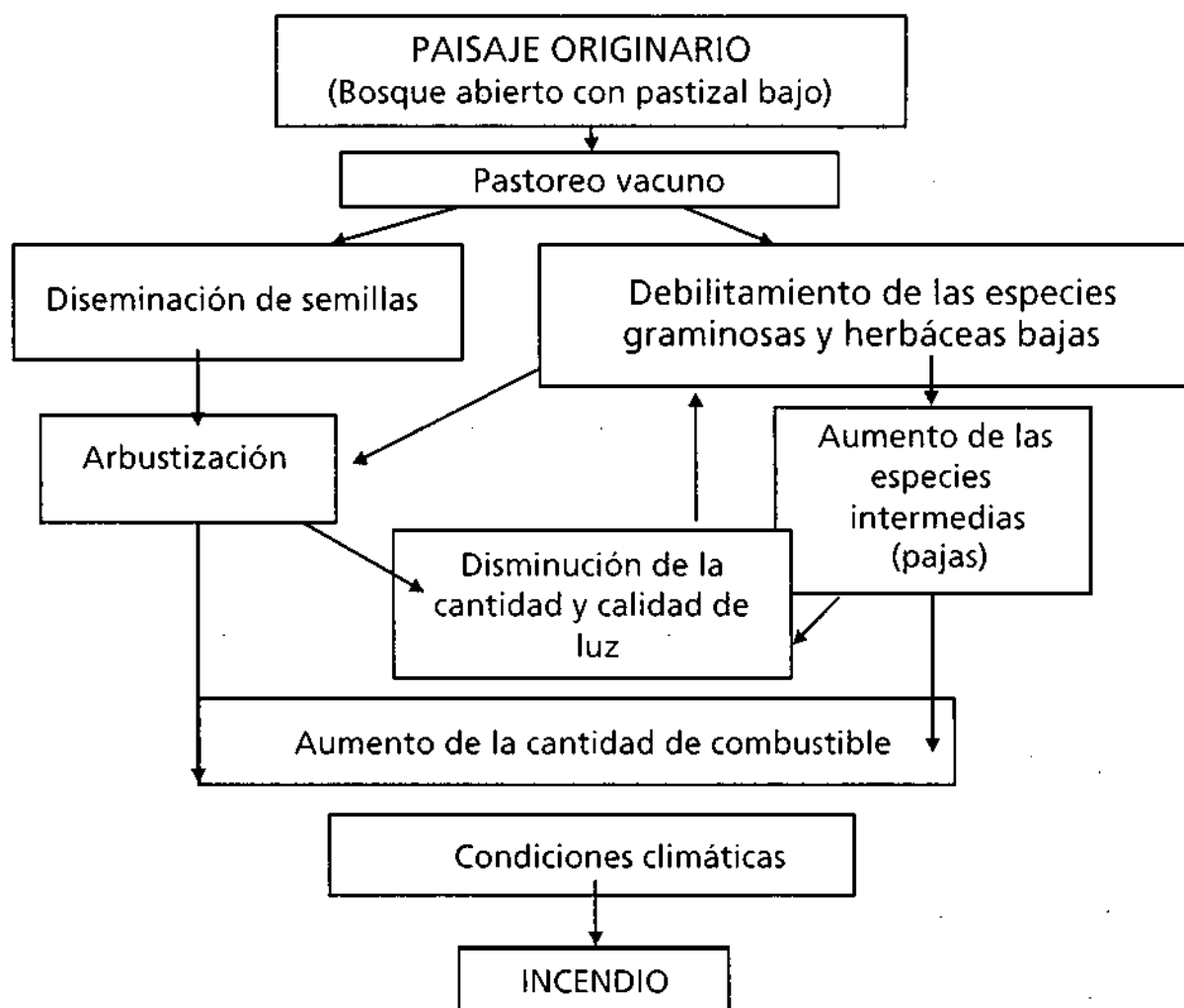


Figura 1. Diagrama conceptual del proceso que produce los incendios en el bosque de caldén.

2. Consideraciones sobre el estrato gramíneo-herbáceo

2.1. Fuego de verano:

Llorens y Frank (1999) estudiaron los efectos sobre la vegetación en 17 fuegos ocurridos entre los años 1983 y 1992 durante los meses de diciembre y marzo. Los resultados sobre el estrato gramíneo-herbáceo del caldenal que se citan a continuación sin aclarar fuentes, son extraídos de ese trabajo.

2.1.1. Cobertura aérea de pajas: sin pastoreo

La cobertura aérea de pajas disminuye abruptamente al consumir el fuego su fitomasa. Se determinó que esta disminución se mantenía aún 4 años después de producirse el fuego, independientemente del nivel original (Tabla 1).

Con pastoreo

Cuando el fuego interactúa con pastoreos intensos inmediatamente después de la quema (10 a 20 días), el consumo de los rebrotes antes de que se desarrollen tejidos fibrosos, mantiene baja la cobertura (Tabla 2).

2.1.2. Densidad de especies forrajeras invernales:

El fuego de verano produjo aumentos significativos en la densidad de especies forrajeras invernales cuando las densidades originales fueron menores a las 50 plantas por metro cuadrado y el efecto contrario cuando las densidades originales fueron más altas. (Tabla 3).

Aparentemente los sitios con bajas densidades originales corresponden a los ocupados por pajas. Al disminuir estas por efecto de la quema, los espacios libres son ocupados por las forrajeras. En sitios con altas densidades originales, no se produce este efecto. En general, y bajo distintos sistemas de manejo, se ha observado que es muy

Tabla 1. Cobertura aérea de pajas anterior al fuego y luego de 4 años de producido. Todos los valores entre datos de igual fila resultan significativos al nivel $P \leq 0,05$.

	Antes del fuego	Después de 4 años
Nivel originario menor de 30%	16	2
30-40%	33	6
40-50%	46	20
Mayor de 50%	66	42

Tabla 2. Efecto del pastoreo posterior a la quema sobre la cobertura de pajas. Los datos se expresan en porcentaje y los que son seguidos de asterisco difieren del de su misma fila a nivel $P \leq 0,05$ (Extraído de Llorens, 1995). Carga media zonal = 0,18 E.V.ha⁻¹.

	Exclusión de pastoreo	Pastoreo con carga igual al triple de la media zonal durante los 8 meses posteriores a la quema
Antes de la quema	34	35
2 meses después de la quema	7	5
9 meses después de la quema	12	7*
14 meses después de la quema	18	7*
21 meses después de la quema	21	7*

Tabla 3. Efecto del fuego de verano sobre la densidad de especies forrajeras invernales. Los datos se expresan en plantas por m². Todos los datos de igual fila difieren a nivel $P \leq 0,05$.

	Antes de la quema	4 años después de la quema
Densidad original menor a 20	3	30
Densidad original 20 - 50	32	91
Densidad original mayor de 50	93	48

difícil mantener densidades por encima de 60 pl.m⁻². Aparentemente a densidades mayores las plantas se eliminan por efecto de la competencia.

2.1.3. Densidad de forrajeras estivales:

Se ha encontrado que cuando los valores anteriores al fuego son menores de 10 pl.m⁻², la densidad de estas especies se incrementa, mien-

tras que cuando los valores son mayores, se produce el efecto contrario.

2.1.4. Interacción fuego - pastoreo respecto de la densidad de forrajeras:

El fuego de verano aumenta la densidad de especies forrajeras cuando sus niveles originarios resultan relativamente bajos. Esto se explicaría

por el establecimiento de plántulas de estas especies que ocurre cuando disminuye la cobertura de pajas. Como se observa en la Tabla 2, el pastoreo intenso de los rebrotes de las pajas antes de que se desarrollen tejidos fibrosos ayuda a mantener el efecto depresor del fuego sobre este parámetro. Este efecto mantiene las condiciones para que las especies forrajeras que se implantan luego de la quema de verano sobrevivan (Tabla 4).

2.1.5. Cobertura de especies forrajeras:

La cobertura de especies forrajeras está altamente correlacionado con la producción de forraje, por lo que es de interés en la producción animal. Se ha encontrado que los fuegos de verano disminuyen la cobertura de estas especies, si se la mide inmediatamente posterior al fuego y hasta un año de su ocurrencia. Sin embargo, una vez que se implantan, aumentan de tamaño y su cobertura se incrementa

de a aumentar la cobertura relativa de especies invernales en detrimento de las estivales ($P \leq 0,05$). Este efecto se observó a partir del año de la quema y se mantuvo mientras se continuaron las observaciones, 4 años después de la misma.

2.2. Fuego de invierno

El estrato graminoso- herbáceo respondió a 4 fuegos ocurridos en distintos potreros y años durante los meses de julio, agosto y septiembre como se detalla a continuación:

- La cobertura de pajas disminuyó significativamente luego de las quemas. Sin embargo, a los dos años de ocurrido el fuego no se encontraron diferencias con respecto a la cobertura inicial.

- La densidad de las especies forrajeras invernales no experimentó cambios por efecto del fuego, en esta época del año. Sólo se observó un leve incremento en los sitios con muy baja densidad original (menos de 10 pl.m²) que se mantuvo sólo por 3 años.

Tabla 4. Efecto del pastoreo posterior a la quema la densidad de especies forrajeras. Los valores que son seguidos de asterisco difieren del de su misma fila a nivel $P \leq 0,01$ (Extraído de Llorens, 1995).

	Exclusión de pastoreo	Pastoreo con carga igual al triple de la media zonal durante los 8 meses posteriores a la quema
Antes de la quema	23	22
2 meses después de la quema	18	18
9 meses después de la quema	84	99
14 meses después de la quema	71	101*
21 meses después de la quema	56	84*

significativamente respecto de los parámetros originales. Esto se observa a partir de los 18 meses de ocurrida la quema y la diferencia se mantiene como mínimo hasta los 4 años posteriores a ella.

2.1.6. Relación de cobertura entre las especies forrajeras invernales y estivales:

Cuando el tapiz original está conformado por una alta proporción de especies invernales, la quema de verano no mostró ninguna diferencia. Por el contrario, cuando la cobertura aérea original está constituida mayoritariamente por especies estivales, el fuego de verano tien-

- La densidad de las especies forrajeras estivales tampoco experimentó cambios significativos.

- La cobertura de especies forrajeras en los fuegos invernales es opuesta a la observada en los fuegos de verano ya que sus valores descienden y esta diferencia se mantiene, al menos durante los 3 años posteriores a la quema. Esto indicaría que este tipo de fuego disminuye la producción animal durante varios años.

- La relación de cobertura entre las especies forrajeras invernales y estivales se mantuvo sin cambios significativos.

3. Efectos del fuego sobre el banco de semillas

Fernández *et al.*, (2001) estudiando una quema realizada en abril, encontraron que en áreas dominadas por especies forrajeras el fuego produjo una ligera disminución en el banco de semillas de estas especies y un aumento en el de pajas. En las áreas dominadas por pajas, el fuego originó un incremento tanto en el banco de semillas de pajas como en el de especies forrajeras.

4. Efectos del fuego sobre los estratos arbustivo y arbóreo

El efecto del fuego sobre este estrato depende principalmente de la intensidad del mismo. Al haberse modelado el sistema bajo la influencia pírca, todas las especies leñosas originarias presentan yemas basales latentes, mayormente entre 1 a 5 cm. de profundidad (Maquieyra *et al.*, 1985). Estas yemas se mantienen latentes mientras las yemas aéreas se encuentran en actividad. Cuando estas ultimase quemar, las yemas basales rebrotan produciéndose varios tallos desde la base por lo que el fuego no elimina a las leñosas (Cano *et al.*, 1985). Cuando la copa resulta dañada en un porcentaje superior al 50 %, el número de tallos basales aumenta notablemente (Llorens, 2000).

Los cambios que se han producido sobre el estrato graminoso-herbáceo han aumentado la cantidad de combustible fino y hace que éste entre en ignición cuando las condiciones ambientales son extremas, en forma natural, accidental o por un manejo inapropiado del fuego. De esta manera se producen incendios que durante los meses posteriores parecen haber eliminado a las leñosas. Sin embargo, al año siguiente se observa que la mayoría rebrotan con varios tallos. Así se forma un arbustal denso, sin ningún valor maderero, que reduce la accesibilidad al forraje tornándose difícil el manejo de este tipo de formaciones vegetales.

La pérdida de aptitud forestal podría generar la recomendación de fuegos recurrentes con el fin de mantener alta la accesibilidad al forraje. Sin embargo, las especies intermedias del pastizal (las pajas) no alcanzan a dominar y muchas veces, la cantidad de combustible es insuficiente para controlar las leñosas. En estos casos es necesario descansar el pastizal desde la primavera anterior a la quema con el objetivo de aumentar

la cantidad de combustible y lograr una mejor distribución del fuego.

Fuegos de baja intensidad calórica producen escasos daños al estrato arbóreo, especialmente a los árboles de mayor tamaño. Un uso recurrente de este tipo de fuego ayudaría a mantener el aspecto sabánico original del caldenal. Además reduce el sombreado sobre el suelo lo que ayuda al establecimiento de gramíneas bajas que compiten en sus estadios iniciales con las leñosas. La modificación del estrato graminoso-herbáceo original y el aumento en la cantidad de combustible, hace necesario la aplicación de fuego en caldenales empajados con el fin de evitar el desarrollo de incendios.

5. Consideraciones del uso del fuego en el caldenal como herramienta de manejo

Al producirse el mayor déficit estacional de forraje al finalizar el invierno, muchos productores queman en esta época con el objetivo de consumir el rebrote de las pajas y sortear de esta forma situaciones comprometidas en la alimentación del rodeo. Sin embargo, como se ha visto, los cambios producidos por este tipo de fuego son efímeros, aunque la variable que si se mantiene deprimida por varios años es la cobertura de forrajeras. Esto hace que en años subsiguientes se agudice el problema del déficit estacional de forraje. Si el fuego se utilizara 6 meses antes de que se manifestara este problema, el aumento de la receptividad que se logra por el rebrote de las pajas haría que no se llegara a producir el mismo. Además se lograría de esta forma un aumento de la cobertura de forrajeras que es persistente en el tiempo y por lo tanto disminuye la necesidad de quemar frecuentemente.

Así como es importante la época de quema porque las respuestas son diferentes, también lo es la intensidad calórica del fuego. Es necesario usar alturas de llama que no quemar más de la mitad de la copa de las especies arbóreas. Esto sólo se logra en pajonales cuando hay una alta humedad del material combustible.

Otro de los objetivos de la quema programada es la disminución del riesgo de incendios. Estos producen la pérdida de la aptitud forestal del bosque, la disminución de la productividad del pastizal cuando las quemar ocurren en invierno, cambios desfavorables a nivel de fauna, desmejoramiento a nivel paisajístico, pérdida en muchos casos de instalaciones rurales y

hasta de vidas humanas. La quema de pajonales sin la necesaria humedad no hace más que anticipar estos efectos.

Fuegos estivales de baja intensidad calórica ayudan a mantener un pastizal con alta proporción de especies forrajeras, buena accesibilidad al forraje y un bosque con características madereras y paisajísticas aceptables. Por otra parte, la necesidad de consumir el rebrote de las pajas para debilitarlas, hace necesario aumentar la carga animal, lo que se traduce en un inmediato aumento de la producción. Estos rebrotes, mientras la carga animal los mantiene por debajo de los 10 cm. conservan una excelente calidad, con niveles proteicos cercanos al 20 %. Tales porcentajes de proteína fueron observados por el grupo CREA Carro Quemado - Luan Toro, en una quema realizada hace 30 años. En observaciones posteriores realizadas por la Dirección de Extensión Agropecuaria de la Provincia, se encontraron resultados similares.

Así como se logra con este tipo de manejo de fuego un aumento en la densidad de forrajeras invernales, también hay un nacimiento de pajas con el consiguiente incremento de su densidad. Al tener éstas un lento crecimiento inicial, su consumo con cargas animales altas retrasa el proceso de formación de fibras pero finalmente terminan dominando nuevamente el estrato gramíneo-herbáceo y a veces con densidades mayores a la original. Por todo esto, se estima que la quema programada es una herramienta que deberá usarse nuevamente en un plazo variable de años. El objetivo de la quema no es hacer desaparecer las especies de mayor porte, sino transformarlas en forraje y mantener su cobertura dentro de rangos aceptables, ya que las especies más altas y de escaso o nulo valor forrajero son más sensibles al efecto del fuego (Bóo *et al.*, 1996).

No es posible pretender extraer de un ecosistema un producto que no le es propio (en este caso, terneros) sin modificarlo, por lo que no es posible producir terneros sin que al mismo tiempo produzcamos el problema del empajamiento. El uso razonable del fuego puede no sólo aumentar la producción, sino también mantener controlada la cobertura de pajas.

6. Pastizales sammófilos

6.1. Caracterización

Estos pastizales, de porte intermedio y de estructura muy homogénea, crecen en diferentes sectores de La Pampa y se extienden hacia el

sudoeste de San Luis. En el área centro-norte de la provincia ocupa áreas medianosas llanas o levemente onduladas y cordones alargados con orientación SW-NE. En el centro y sudeste ocupa el centro de los valles transversales, intercalándose con el bosque de caldén. La superficie que cubren dentro de la provincia es de aproximadamente un millón de hectáreas. La precipitación media anual en las áreas donde se desarrolla esta comunidad es de 350 - 500 mm. anuales y su ocurrencia es primavera - estivo - otoñal.

En el área casi no hay vegetación leñosa y la composición florística ha cambiado por el pastoreo. Estos pastizales eran originalmente dominados por el pasto colorado (*Sorghastrum pellitum* Parodi), una especie estival de porte intermedio, hoy muy difícil de observar debido al efecto del pastoreo, por ser ésta una especie muy palatable, muy poco resistente al corte y que no ha coevolucionado con grandes herbívoros como todas las especies pampeanas. Es por ello considerada una especie decreciente (León *et al.*, 1984; Cano *et al.*, 1988).

Con la aparición del ganado doméstico en la última centuria el pastizal dominado por el pasto colorado dio lugar a la aparición de un estado dominado por especies forrajeras estivales más resistentes al pastoreo, como el pasto escoba (*Schizachyrium plumigerum* Parodi) y penacho blanco (*Bothriochloa springfieldii* Parodi), entre otras y algunas pocas invernales, como flechilla fina (*Stipa tenuis* Philippi) y pasto hilo (*Poa lanuginosa* Poirét). Estas especies invernales sólo aportan el 10 % de la forrajimasa total (Frank *et al.*, 1998). El sobreuso de pastizales en este estado determina la aparición de otras especies, que paulatinamente terminan dominando y formando otros estados estables representados por especies no forrajeras como la paja amarga [*Elyonurus muticus* (Spreng.) O. Kuntze] o el olivillo (*Hyalis argentea* Don), una compuesta con rizomas extensos, muy difícil de controlar una vez establecida (Cano *et al.*, 1988).

El laboreo de estos dos últimos estados de baja productividad y su posterior abandono da paso a una comunidad de especies anuales estivales de muy baja producción de forraje, como la roseta (*Cenchrus pauciflorus* Benthám). Mas tarde aparecen especies perennes, como el tupe o ajo macho (*Panicum urvilleanum* Kunth), caracterizadas también por una producción forrajera escasa en cantidad y calidad. Importantes áreas, especialmente las más degradadas, se han utilizado para la siembra de especies introducidas, fundamentalmente el pasto llorón (*Eragrostis curvula* Nees.)

La producción forrajera de los pastizales se caracteriza por su marcada estacionalidad en todos los estados descriptos. Se producen excedentes forrajeros durante el semestre cálido que difieren con muy mala calidad y que son el único recurso forrajero desde abril hasta octubre, que es la época comprendida fuera del período libre de heladas.

6.2. Acción del fuego

En esta área ocurren durante el semestre cálido, tormentas frontales con abundantes descargas eléctricas, que en ocasiones no producen lluvias. Cuando este fenómeno ocurre es común observar varios focos separados por algunos kilómetros que se encienden casi simultáneamente. Estos frentes vienen acompañados normalmente de vientos intensos. Al no haber vegetación leñosa, el viento incide directamente sobre el pastizal, por lo que estos fuegos adquieren gran velocidad de propagación.

Morici *et al.*, (1997) analizaron los estados y transiciones de estos pastizales en el área medanosa de la provincia de La Pampa. Plantearon un catálogo sobre las transiciones puntualizando la importancia de los disturbios, en particular el fuego y el pastoreo, como agentes de cambio que promueven transiciones entre estados.

Aguilera *et al.*, (1998), encontró que el estado de dominio del pasto colorado se asocia positivamente a un uso relativamente reciente del fuego. Su exclusión de este sistema por la práctica de cortafuegos sumada al sobrepastoreo podría contribuir al retroceso de las especie ya que la acumulación de mantillo y material senescente, en particular en años con precipitaciones mayores a las normales, produce una importante mortalidad de plantas.

El fuego es usado por los productores agropecuarios generalmente en potreros de pastolón. La escasa infraestructura en los establecimientos pecuarios y la gran extensión de los potreros hace que estos cultivos perennes queden, al finalizar su ciclo de crecimiento, amanchonados por el pastoreo continuo a baja carga. Las áreas con material senescente se queman normalmente en el mes de agosto.

En los potreros dominados por paja amarga es también usual la quema durante el mismo mes. El objetivo es el consumo del vigoroso rebrote de esta especie que se produce a fines de este mes. El inconveniente es que sólo puede ser consumida aproximadamente 15 días porque luego se torna impalatable. Este tipo de manejo no logra revertir el estado de dominio de esta especie.

Oriente y Anderson (1978), estudiaron los efectos de un fuego de agosto en un pastizal en

San Luis, de características similares a las anteriormente descriptas. Encontraron que las especies forrajeras estivales fueron favorecidas por el fuego mientras ocurrió lo contrario con las invernales. Se determinó además que el fuego no tuvo efectos sobre el contenido de materia orgánica del suelo, aunque disminuyó la concentración de nitratos, posiblemente por la alta utilización que habrían hecho las plantas de este anión durante el rebrote. Actualmente la Delegación Victorica, de la Dirección de Extensión Agropecuaria de la Provincia de La Pampa, está estudiando la tendencia de la vegetación en estos ambientes. Sus conclusiones preliminares respecto de los fuegos primaverales en los pastizales psamófilos coinciden con los encontrados por Oriente y Anderson (1978) en relación al aumento de las forrajeras estivales, tanto en cobertura como en densidad. Se observó también un aumento de la cobertura y densidad de olivillo.

Llorens (2001) estudió el efecto del fuego de fines de verano en este tipo de sistemas y encontró una disminución significativa de la cobertura de paja amarga y un aumento de la densidad de forrajeras invernales. Esto último resulta de interés para disminuir el déficit invernal de forraje. Junto a estos resultados se detectó además que, al año de la quema, la cobertura de olivillo resultó ser un 175% de la originaria. Por lo tanto, este tipo de manejo puede ser inapropiado en potreros con presencia de esta especie.

7. Reflexiones finales

El fuego resulta ser un integrante de los ecosistemas a los que nos hemos referido. Entre los cambios que produjo la colonización, se produjo una variación en la frecuencia e intensidad del fuego en estos sistemas. El fuego resulta una herramienta valiosa tanto para incrementar la producción, como para preservar el medio. Sin embargo el mismo debe ser usado acotado dentro de determinados parámetros, ya que sus efectos son muy variables, como hemos visto, acorde a la intensidad, y época en la que sea usado, y por otra parte su utilización sólo debería hacerse dentro de una planificación con objetivos concretos. Además, su adecuado uso es una herramienta valiosa para el control de los incendios.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen las sugerencias recibidas por los Ing. Agr. Beatriz Fernández y Ernesto Morici.

9. Bibliografía

- Aguilera M., D. Steinaker, M. Demaría y A. Ávila. 1998. Estados y transiciones de los pastizales de *Sorghastrum pellitum* del área medanosa central de San Luis, Argentina. *Ecotropicos* 11 (2): 107-120.
- Bóo R., D. Peláez, S. Bunting, O. Elía y M. Mayor. 1996. Effect of fire on grasses in central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments*. 32: 259-269.
- Cano E., H. Estelrich y H. Holgado. 1985. Acción del fuego en los estratos gramíneos y arbustivos de un bosque de caldén. *Rev. Fac. Agron. UNLPam*. Vol 1 n° 1. 81:95.
- Cano E., H. Estelrich y B. Fernández. 1988. Fitomasa aérea de los pastizales sammófilos de la pampa en distintos estados de condición. *Rev. Fac. Agronomía. UNLPam*. Vol. 3. N° 2. 44-54.
- Dussart E., P. Lerner y R. Peinetti. 1998. Long term dynamics of 2 populations of *Prosopis caldenia* Burkart. *J. Range Manage.* 51 (6). 685:691.
- Fernández B., E. Morici; H. Estelrich y C. Chirino. 2001. Efecto de la quema controlada sobre la estructura de la comunidad y el banco de semillas de especies gramíneas en el bosque de caldén. Resúmenes del 1er. Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. San Cristóbal. Santa Fe. 65:66.
- Frank E.; E. Llorens y D. Cabral. 1998. Productividad de los pastizales de la Provincia de La Pampa. Edición a cargo de la Subsecretaría de Asuntos Agrarios de la Pcia. de La Pampa y el INTA.
- León R., G. Rusch y M. Oesterheld. 1984. Pastizales pampeanos. Impacto agropecuario. *Phytocoenologia*. 12: 201-218.
- Llorens E. 1995. Changes in the herbaceous layer of the Calden Forest (Argentina), produced by fire, grazing and their interactions. *Proceedings of the V° International Range Congress*. Salt Lake City, USA. 1-321:322.
- Llorens E. y E. Frank. 1999. Aspectos ecológicos del estrato herbáceo del caldenal y estrategias para su manejo. Edición a cargo del CREA Carro Quemado – Luan Toro, la Subsecretaría de Asuntos Agrarios de la Pcia. de La Pampa y el INTA.
- Llorens E. 2000. Estrategias de manejo del pastizal para lograr una máxima producción sustentable. Resúmenes del 1er. Congreso Nacional de Ganadería Pampeana. Santa Rosa. 19:32.
- Llorens E. 2001. Efecto del descanso y del fuego de verano en pastizales psamófilos de la Provincia de La Pampa. Resúmenes del 1er. Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. San Cristóbal. Santa Fe. Pág. 67.
- Maquieyra C., G. Schiavi, G. Zingaretti, V. Zorzi y E. Cano. 1985. Efecto de un fuego controlado en los estratos gramíneo y leñoso de un bosque de caldén. *Rev. Fac. Agron. UNLPam*. Vol. 1 n° 1. 97:109.
- Morici E., B. Fernández, C. Chirino; H. Estelrich y M. Berrueta. 1997. El pastizal sammófilo de la región semiárida pampeana. Estado actual y propuestas para su recuperación. Resúmenes de la XVIII Reunión Argentina de Ecología. Bs. As. pág. 92.
- Orionte E. y D. Anderson. 1978. Influencia del fuego en un área reliquia del sorghastral. *Ecología* 3. Villa Mercedes, San Luis. 111:116.
- Peláez D., R. Bóo; O. Elía y M. Mayor. 1992. Interacciones competitivas entre *Piptochaetium napostaense* Speg., *Stipa tenuis* Phil y plántulas de *Prosopis caldenia* Burk. *Revista Argentina de Producción Animal*. 12-255:274.

Capítulo 24

Control de incendios

Norberto Rodríguez^{1, 2}



¹ Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) e-mail: norberto@ciefap.cyt.edu.ar

² Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

1. Introducción

Se entiende por incendio rural a todo aquel que se desarrolla en áreas rurales, afectando vegetación boscosa, matorrales, arbustales y/o pastizales (Dentoni y Muñoz 1999). Incluye asimismo a los incendios de interfaz que son aquellos que afectan áreas con estructura urbana y rural indistintamente, que se dan generalmente en zonas suburbanas o en regiones con gran desarrollo turístico.

Es importante aceptar que la Tierra es un Planeta de Fuego.

La Tierra es el único planeta del sistema solar en el que el fuego tiene lugar, ya que en ella se encuentran el Oxígeno, el Hidrógeno, el Carbono y fuentes de ignición, considerando como tales a las naturales (rayos, volcanes, autocombustión) como a las humanas (todas las actividades del Hombre). Por lo tanto nuestro país está involucrado en esta problemática y debemos asumir que la Argentina es un «país de fuego». Así, al observar la información estadística sobre ocurrencia de incendios rurales en la Argentina en un período de cinco años, ésta nos muestra que no hay región ni provincia del país que no se vea afectada por los mismos (Tabla 1)

Tabla 1. Estadística de incendios en la República Argentina. Fuente SAGPyA período 1997-2001 y datos propios

Jurisdicción (has)	Superficie afectada
Buenos Aires	32.143
Catamarca	25.690
Córdoba	58.610
Corrientes	3.551
Chaco	8.139
Chubut	8.950
Entre Ríos	4.643
Formosa	3.191
Jujuy	483
La Pampa	964.918
La Rioja	46.051
Mendoza	244.084
Misiones	3.702
Neuquén	39.275
Parques Nacionales	5.702
Río Negro	249.220
Salta	31.296
San Juan	628
San Luis	125.983
Santa Cruz	11.211
Santa Fe	1.122
Santiago del Estero	3.641
Tierra del Fuego	195
Tucumán	4.108
Total del País	1.876.534

El fuego ha sido y continuará siendo una de las grandes fuerzas de la naturaleza y parte integrante de muchos ecosistemas. Es un componente de perturbación natural de los ecosistemas y la interrupción o eliminación del fuego puede ser tan perjudicial como su presencia no deseada. El fuego y otras perturbaciones han modelado los paisajes del mundo, con parches y cicatrices de fácil observación como ocurre, por ej. en la Región de los Bosques Andino Patagónicos.

En la actualidad dos factores importantes influyen en la evolución del uso y control del fuego, ellos son: el cambio climático y el aumento de la población mundial.

A medida que aumenta el número de habitantes, aumentan las demandas y las expectativas sobre los recursos. Cada vez más personas eligen vivir en áreas de bosque, en la interfaz de la zona urbana y la zona silvestre o en áreas alejadas. Algunos necesitan los beneficios económicos, puestos de trabajo, madera, productos madereros con valor agregado, y la estabilidad de las comunidades rurales que ofrece un sector foresto rural floreciente. Otros en cambio desean los atractivos de vivir en un ambiente arbolado (sombra, tranquilidad, aire limpio, belleza escénica y oportunidades recreativas que allí encuentran). Muchas veces estos deseos son encontrados, incompatibles entre sí. El problema se agrava cuando es escaso el control y los habitantes tienen poco respeto hacia la vegetación en general y hacia los bosques en especial, agravado con una escasa conciencia sobre el peligro que significa el fuego en determinados ambientes, y con determinadas condiciones ambientales relacionadas a la meteorología y a la vegetación.

El estado actual del conocimiento con respecto al tema incendios y sus consecuencias se visualiza en la Figura 1.

Con la información y conocimiento disponible hoy en el país podemos asegurar un buen entendimiento sobre topografía (existe buena cartografía, imágenes satelitales, SIG, etc.), los combustibles (mapas de vegetación, SIG, etc.) y meteorología, siendo los pronósticos meteorológicos cada vez más exactos. Por otra parte ya se emplean sistemas de evaluación de peligro de incendios, aunque los índices no se aplican en todas las regiones. Estos tres elementos combinados entre sí, (topografía, combustibles y meteorología) determinan el comportamiento del fuego, el cual es cada vez más previsible, por lo tanto podemos considerar al estado del conocimiento al respecto como bueno.

El comportamiento del fuego determinará la severidad de la situación y el grado de daño a la vegetación y suelo afectados. Al respecto se han conducido estudios aislados en diferentes regiones del país llevados adelante por investigado-

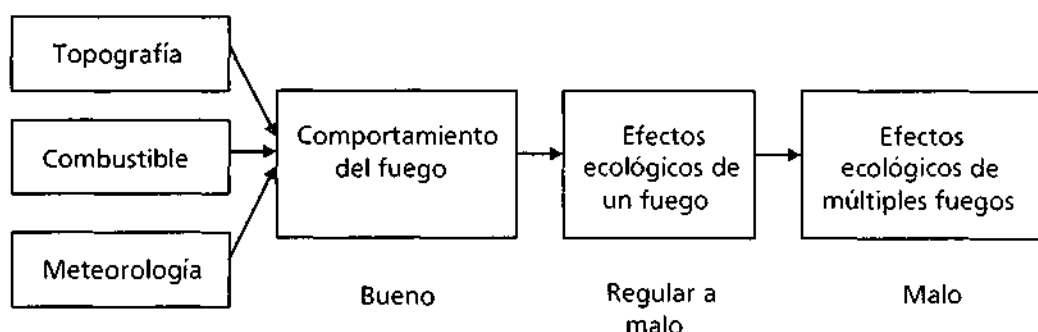


Figura 1. Estado actual del conocimiento en el manejo del fuego

res dependientes de diferentes universidades, institutos y centros de investigación.

La ecología del fuego trata de conocer los efectos primarios y secundarios de los incendios en los ambientes en que éstos ocurren y su rol en los mismos. El conocimiento de la ecología del fuego se ha incrementado en las últimas décadas en cuanto a sus efectos sobre la diversidad, el crecimiento de las plantas, recuperación de áreas postfuego, los procesos de descomposición de la materia y la dinámica de las relaciones de los nutrientes en el suelo. También se han conducido investigaciones con relación a índices de peligro de incendios, comportamiento del fuego en quemadas prescritas, modelización de la propagación del fuego en pastizales y diversos temas relacionados a la prevención por mencionar algunos.

2. Manejo adecuado

Tradicionalmente, se ha considerado el fuego como un agente destructor que exige su extinción inmediata, sobre la base de que siempre es malo. Las políticas de control de incendios se desarrollaron como respuesta a grandes incendios catastróficos, pero la exclusión total del fuego, puede acarrear problemas como la acumulación de combustibles, incendios anormalmente destructivos, pérdida de ecosistemas.

Actualmente, los gestores de recursos naturales nos encontramos frente a una presión pública exigente e informada, a mandatos legales y exigencias administrativas, a costos de gestión cada vez mayores frente a presupuestos fijos y demandas conflictivas de preservación, conservación y explotación.

Estas presiones, ocasionadas por ciertas realidades de la ecología y la economía, y crecientes demandas de los recursos, han obligado al desarrollo de nuevas actitudes hacia el fuego. Esto ha llevado al concepto de "manejo del fuego",

que representa un enfoque diferente hacia el tema del fuego y que procede de un mayor conocimiento del papel ecológico del mismo.

El manejo del fuego puede definirse como "la integración de la información biológica, ecológica, física y tecnológica relacionada con el fuego dentro de la ordenación del territorio para cumplir los objetivos deseados".

3. Alternativas

Para el manejo del fuego es evidente la aplicación de tres alternativas:

- (1) exclusión del fuego,
- (2) manejo pasivo del fuego y
- (3) manejo integrado del fuego.

Es importante tener presente cuales son las variables que inciden en el manejo del fuego para determinar la alternativa a utilizar. Algunas de las variables se muestran en el Figura 2.

3.1 Exclusión del fuego

La exclusión del fuego elimina su presencia en áreas especiales. La exclusión o extinción del fuego requiere la existencia de infraestructura bien desarrollada, con personal muy entrenado, equipos necesarios suficientes en cantidad y calidad, y cooperación de la población local que se encuentre dentro o rodeando el área bajo protección contra incendios.

3.2 Manejo pasivo del fuego

El manejo pasivo del fuego es aplicable a algunas áreas silvestres. Bajo esta opción se deja que el fuego desempeñe su papel natural en el ecosistema. Esta opción es difícil en nuestro país y en muchas partes del mundo debido a la densidad de la población humana dentro o cercana a los bosques y áreas de pastizales, y su

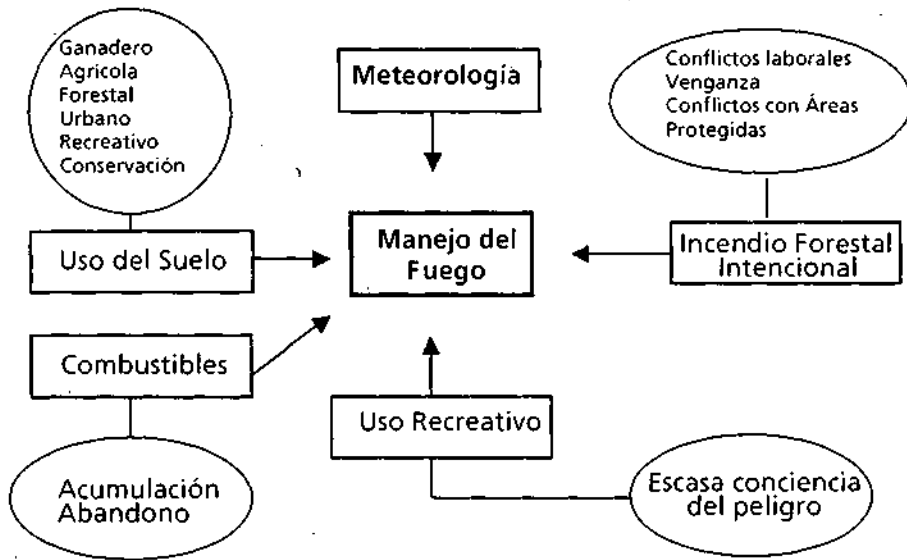


Figura 2. Variables que inciden en el manejo de fuego.

implementación se ve dificultada muchas veces por aspectos legales y de mentalidad.

tenemos los *insumos*, el *proceso*, y como resultante el *producto*.

3.3 Manejo integrado del fuego

El manejo integrado del fuego, incluye muchos componentes. Es importante determinar los objetivos de ordenación de los recursos del área determinada y desarrollar planes de manejo del fuego acordes para cumplir aquellos objetivos.

Para poner en práctica el manejo integrado del fuego, es necesario disponer de una política que establezca los objetivos superiores que justifican la necesidad del manejo del fuego. El manejo del fuego tiene actividades que involucran la predicción de la ocurrencia, el comportamiento, los usos y los efectos del fuego, como así también la toma de decisiones adecuadas a cada caso de acuerdo con los objetivos fijados.

El manejo de fuego tiene bien en claro objetivos definidos y nivel de eficiencia deseable, por lo tanto, y especialmente en lo que respecta al control de incendios se puede asumir como un proceso productivo. En un proceso productivo



Llevado esto al caso de las actividades de control de incendios los insumos serían los recursos humanos, los recursos materiales y la logística; el proceso estaría dado por las tácticas, estrategias y acciones de la operación de control de incendios; y finalmente el producto estaría dado por el incendio controlado (Figura 3).

4. Planificación

A fin de una mayor eficiencia en el control de incendios, es necesario la planificación previa, necesaria por varias razones, entre ellas:

- Necesidad de mantener un alerta permanente.

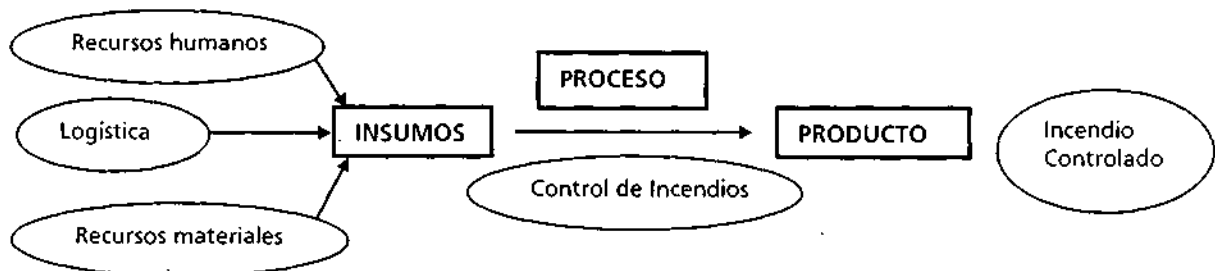


Figura 3. Marco del control de incendios.

- Necesidad de proteger grandes áreas con poco personal.
- Necesidad de sortear problemas como son la accesibilidad y los desplazamientos en el área bajo protección.
- Necesidad de flexibilidad en la organización para hacer frente a las fluctuaciones que el incendio va a presentar día a día.

- Necesidad de consensuar acuerdos entre instituciones.
- Necesidad de realizar acciones exitosas.

Estos requisitos se alcanzan mediante la elaboración de un Plan de Protección cuyo formato base se describe a continuación (Tabla 2).

Tabla 2. Formato del plan de Protección contra incendios

Formato del Plan:

1. Introducción.

2. Descripción del área.

- 2.1. Localización, superficie y límites.
- 2.2. Características naturales.
 - 2.2.1. Clima.
 - 2.2.2. Geología y edafología.
 - 2.2.3. Topografía.
 - 2.2.4. Vegetación.
- 2.3. Población e infraestructura.
 - 2.3.1. Población.
 - 2.3.2. Tenencia de la tierra.
 - 2.3.3. Infraestructura.
- 2.4. Uso actual de la tierra.
- 2.5. Objetivos de Manejo Forestal.

3. Análisis del problema de los incendios forestales

- 3.1. Análisis del riesgo.
- 3.2. Análisis del peligro.
- 3.3. Descripción y clasificación de los valores amenazados.

4. Objetivos de la protección

5. Prescripciones

- 5.1. Prevención.
 - 5.1.1. Educación y difusión.
 - 5.1.2. Legislación y reglamentación.
 - 5.1.3. Reducción de probabilidades.
- 5.2. Presupresión.
 - 5.2.1. Evaluación del grado de peligro.
 - 5.2.2. Detección.
 - 5.2.3. Comunicaciones.
 - 5.2.4. Personal.
 - 5.2.5. Almacenamiento y despacho de equipo.
 - 5.2.6. Transporte.
 - 5.2.7. Estado de preparación (estado de alerta).
- 5.3. Supresión.
 - 5.3.1. Procedimientos para la movilización.
 - 5.3.2. Ataque inicial.
 - 5.3.3. Ataque ampliado.
 - 5.3.4. Liquidación y patrullaje.
 - 5.3.5. Reporte del incendio.

6. Anexos

- 6.1. Mapas.
- 6.2. Gráficas e histogramas (estadísticas).
- 6.3. Formularios de reporte y de solicitud.
- 6.4. Organigramas y responsabilidades

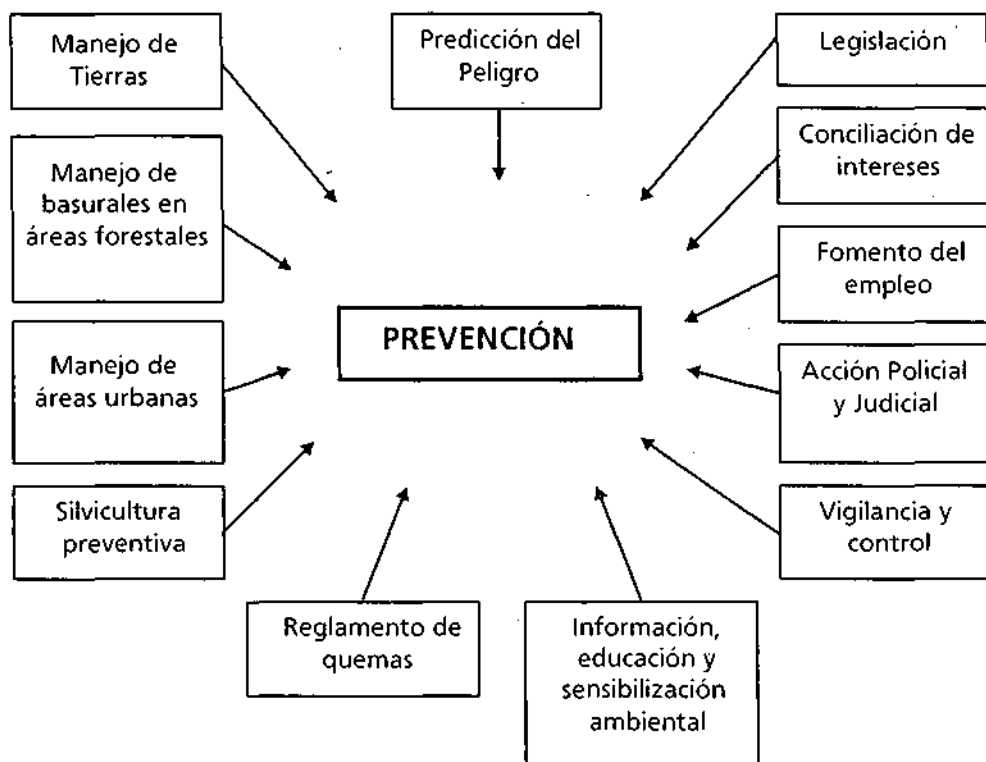


Figura 4. Aspectos que influyen en la prevención

5. Principales acciones

Las principales acciones a desarrollar deben concentrarse en actividades de prevención, presupresión y supresión.

La prevención, abarca un sinnúmero de aspectos legislativos, normativos, educativos, informativos y de acciones concretas en el terreno. Algunos de ellos se muestran en el Figura 4.

La presupresión abarca todas aquellas acciones relacionadas con el 'estar preparados para actuar' una vez que un incendio se ha declarado. En esta instancia se contempla la organización de los recursos humanos y materiales, su capacitación y los esquemas para su despacho y movilización.

La supresión abarca todas aquellas actividades que se desarrollan para suprimir, combatir

un fuego declarado. Están consideradas todas las acciones desde el despacho del personal y elementos hasta la desmovilización de todo una vez finalizada la acción de control del incendio.

6. Reflexiones finales

Como profesionales del área del manejo y administración de recursos naturales debemos estar preocupados en mantener y mejorar nuestros recursos naturales, por lo tanto necesitamos que del manejo del fuego sus efectos beneficiosos sean máximos y sus efectos perjudiciales mínimos. Ello se logra con una selección de la estrategia apropiada de manejo de fuego y buena planificación en el terreno.

7. Bibliografía

- Dentoni M. y M. Muñoz. 2000. Sistemas de evaluación de peligro de incendios. Plan Nacional de Manejo del Fuego, Secretaría de Desarrollo Sustentable y Ambiente Humano. Informe Interno. 29 pp.
- Fs. U.S.D.A., CONAF. 1986. Control de Incendios Forestales. CONAF, Chile
- Fs. U.S.D.A., IFONA. 1986. El manejo del fuego. Curso Argentino. IFONA, Argentina.
- ICONA España. 1983. Técnicas para defensa contra incendios forestales. Monografía 24.
- Julio-Alvear G. 1988. Mecanismos de gestión en el manejo del fuego UACH Valdivia.
- Rodríguez N. y A. Moretti. 1988. Bases para la elaboración de programas en la prevención y lucha de incendios forestales. Tomo III, Actas del VI Congreso
- Rodríguez N. 2001. El Fuego en el manejo de Recursos Naturales ¿Un problema o una herramienta 1ª Reunión Binacional Argentino-Chilena de Ecología. San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina.
- Velez R. 2001. «La Defensa Contra Incendios Forestales» Fundamentos y experiencia. Mc Graw Hill.

Los fuegos en los Parques Nacionales: de la exclusión al manejo

Juan Salguero¹ y Sergio Rusak¹



Nahuel Huapi
Foto: Administración de Parques Nacionales



Incendio controlado en El Palmar
Foto: Administración de Parques Nacionales

¹ Administración de Parques Nacionales. e-mail: pnint@bariloche.com.ar

1. El fuego, aquel enemigo

La Administración de Parques Nacionales ha sido una institución señera en el país, en la lucha contra los incendios forestales. Desde la creación del primer Parque Nacional en 1922, hoy Parque Nacional Nahuel Huapi, la ocurrencia de incendios ha sido un problema de constante preocupación en el organismo. Ya en esa época el Ing. Emilio Frey, primer administrador del área, advertía a las autoridades nacionales sobre el "flagelo" de los incendios de bosques provocados por pobladores "incultos" y dispone la prohibición de rozados y la contratación de "guardas forestales" encargados de prevenir y controlar los fuegos de bosques (Frey, 1922). Precisamente los rozados, o quemados del bosque, eran realizados por pobladores con el objetivo de ganar superficie de pastoreo para el ganado. Mediante esa metodología, en un período relativamente breve de años, fueron quemados cerca del 25 % de los bosques de la región cordillerana de Río Negro y Neuquén, hecho que ha sido documentado en sendos mapas de Bailey Willis (1914) y Max Rothkugel (1916).

Con la creación de cuatro nuevos Parques ubicados en la región andina de la Patagonia (Lanín, Los Alerces, Los Glaciares y Perito Moreno, en 1937), el problema de los incendios fue tomando mayor envergadura dentro de la Institución, convirtiéndose en uno de los principales enemigos de la conservación. Pero era un enemigo restringido solo a los bosques patagónicos.

La valoración negativa respecto a la ocurrencia de incendios de bosques en estas áreas protegidas tenía (y lo tiene aún) una fuerte razón de ser, en tanto que afectaba el aprovechamiento de los múltiples recursos que proporciona el bosque (recreacional, silvícola, protección del suelo, etc.) que eran objeto de conservación.

2. Una estructura contra el fuego

Aquellos primeros guardas forestales (luego guardaparques) distribuidos estratégicamente en puestos, contaban cada uno con un equipo de incendio (motobomba y herramientas de mano) y equipo de comunicación radial. Ante un fuego de envergadura, se convocaba a los pobladores y otros empleados del organismo, para su extinción. Así se estructuró y funcionó durante décadas, el sistema de lucha contra incendios de Parques Nacionales.

Con dicho sistema se intentó copiar fielmente el que se desarrollaba en ese momento en la

provincia de Quebec, Canadá. Se lo conoce como «la regla de las 10 de la mañana» y se basó en el siguiente principio: ocurrido un foco de incendio, antes de las 10 hs. del día siguiente debía estar controlado utilizando para ello los recursos que fueran necesarios.

Avalando esta política, en la década del '40, se tradujeron del francés manuales de operaciones de Quebec y en los años '60 se llegó a organizar un proyecto de formación de brigadas paracaidistas que se conformaron en los Parques Nacionales Lanín y Nahuel Huapi, con resultados poco eficientes.

No obstante los esfuerzos de organización, hasta la década del '70 cada Parque mantenía su organización con independencia del resto del sistema. Una debilidad.

Para principios de los '80 se creaba entonces la «Supervisión General de Incendios», instancia con responsabilidad sobre todas las áreas protegidas patagónicas y sobre quien se pudiera evaluar los resultados en la serie de incendios de magnitud del verano 86/87 (Cerro Capilla, Arroyo del Medio y Ñorquinco). Esta unidad sería la encargada de normatizar, adquirir y distribuir el equipamiento de incendio, capacitar a los brigadistas y movilizar recursos entre los Parques. Fue quien dispuso por primera vez la realización de guardias permanente de ataque inicial en cada Parque, durante toda la temporada de peligro, contratando para ello personal específico.

Para mediados de los '90 maduró la idea de que todas las áreas protegidas del sistema de Parques Nacionales en mayor o menor medida tenían influencias de fuego, no solo como «control de incendios» sino también como uso de «quemados prescritos». Se produjo entonces el último gran cambio en la organización, que perdura hasta el presente, impulsado por incendios que afectaron unas 10.000 ha entre bosques, matorrales y pastizales en el P. N. Nahuel Huapi (APNa). Se crea en cada Parque una unidad permanente responsable de controlar los incendios, y atender las comunicaciones y las emergencias (ICE). Estas unidades serían las encargadas de realizar las actividades de prescripción, prevención y supresión de los fuegos (ataque inicial y ataques ampliados), dirigidos por un guardaparque especializado en el tema y personal combatiente contratado. Se modernizó el equipamiento de combate, comunicación y despliegue en el terreno, y se incorporó el uso de medios aéreos mediante contratos por temporada. Respecto a estos últimos, si bien hubo incursiones puntuales desde los '60, aquí se los involucra de forma permanente y planificada a través de los dos primeros escalones, avionetas de observación preventiva y manejo, y helicópteros para el traslado de brigadistas de ataque inicial, equipo y bombardeo de agua.

Todos los ICE del país están articulados desde la Coordinación de Lucha contra Incendios Forestales (CLIF), con sede en Bariloche y responsabilidad sobre todos los Parques Nacionales del país. La CLIF tiene como función principal el coordinar el movimiento de todos los recursos del sistema de Parques, las relaciones con otros organismos intervinientes, ser el nexo con el Plan Nacional de Manejo del Fuego, e incluso, hacerse cargo de la coordinación ante incendios de magnitud. Sus actividades se agrupan en cuatro programas: a) Operaciones, que actúa en todo lo concerniente a la acciones de prevención y supresión de los fuegos; b) Equipamiento, centraliza la adquisición y reparación de elementos manuales y mecánicos, indumentaria, comunicaciones, vehículos, y se encarga además de coordinar la logística; c) Capacitación, responsable de la formación y entrenamiento de los brigadistas en todos los niveles; y d) Ecología del fuego, vincula los aspectos operativos con los ecológicos, participa en la planificación del manejo del fuego (índices de peligro, cartografía, mapas de combustibles, etc), y los monitoreos pre y post fuego.

3. Éxitos e incertidumbres

Si se realiza un balance general se podría afirmar que el control de los fuegos dentro de los Parques andino-patagónicos ha sido exitoso, ya que en los últimos 60 años solo se ha quemado un 8 % de la superficie de los parques ubicados al norte de la región, que son los que tienen mayor peligro de incendios; y un 6 % si se toma en cuenta toda la región (APNa).

Pero existe una paradoja: se ha progresado significativamente en cantidad de recursos materiales y humanos para controlar los fuegos, la capacitación y el entrenamiento del personal combatiente es mucho mejor que en el pasado, pero las estadísticas indican que en los últimos 8 años se han producido dos fuertes sequías (1996, 1999) que desataron los mayores incendios en décadas. ¿La causa de estos incendios se debe exclusivamente a factores climáticos o también fue propiciado por una mayor acumulación de combustibles en el Parque?

Si se comparan fotos aéreas de la década del 40 del siglo pasado, con imágenes satelitales del presente, resulta fácilmente visible la recuperación de los bosques en amplias zonas de los Parques. Sin duda que ello es debido a la reducción de las superficies quemadas y del pastoreo. Esta situación plantea algunas otras preguntas: en el futuro, cuando esas masas forestales lleguen a su madurez, ¿los incendios podrán ser controlables con tanto éxito como hasta el presente?; ¿qué efectos tendrá a largo plazo sobre la

biodiversidad y sobre el paisaje la política de exclusión de los fuegos en la región? ¿es sostenible tal política a largo plazo?

4. Nuevos Parques, nuevos enfoques

Con la creación de los Parques Nacionales El Palmar (1966) y Lihue Calel (1977) (APNb), comienza un nuevo desafío en la forma de encarar el problema de los incendios en las áreas naturales protegidas. Se trata en ambos casos de Parques relativamente chicos (8.500 y 9.904 ha respectivamente) y con presencia de fuegos recurrentes que han afectado la mayor parte de sus superficies (sabanas en El Palmar; pastizales y matorrales xéricos, en Lihue Calel). Pese a tratarse de biomas diferentes al de los bosques patagónicos, se aplicó (y aún se continúa aplicando) la misma política de supresión absoluta de los fuegos que décadas antes se había adoptado para la región andino-patagónica.

En concordancia con los cambios de paradigmas ecológicos (cuadro 1), se fue comprobando que las comunidades y paisajes de esos ecosistemas están adaptados y dependen de la presencia de fuegos recurrentes para su desarrollo.

Cuando se crea el P. N. El Palmar, los herbívoros nativos estaban extinguidos y la presión de pastoreo, y en consecuencia la regulación del volumen de combustible de los pastizales, la ejercían por el ganado doméstico y las quemadas, que con una frecuencia bianual, realizaban los dueños del campo. Con la exclusión de la ganadería y el control de los fuegos no se hizo más que propiciar la acumulación de una inusitada cantidad de combustible que favoreció el desarrollo de incendios de mayor intensidad, y el inicio del proceso de arbustificación del Parque (Menvielle F., comunicación personal).

En el presente no cabe duda sobre la necesidad de reintroducir al fuego como parte de los procesos ecológicos del Parque, para el sostenimiento de la biodiversidad.

Lihue Calel se encuentra ubicado en una zona donde se produce el choque de las masas de aire frío provenientes del Sur-Oeste, con los vientos cálidos del Nor-Este, que genera un promedio de cinco tormentas eléctricas en los meses más cálidos y secos del año, que son causales de numerosos incendios naturales. Recientemente una misma tormenta ha provocado 27 incendios alrededor del Parque (Mine R., comunicación personal).

Las últimas observaciones estarían indicando que la ausencia de fuegos dentro del área protegida, está provocando una menor presencia de especies de fauna adaptada a sitios abiertos como

Cuadro 1. Enfoques en relación a las teorías ecológicas

Paradigma clásico	Paradigma nuevo
Se basa en la teoría sucesional como estadios lineales y rígidos	Se basa en la noción de diversos estados sucesionales alternativos y posibles
Se pone énfasis en preservar los estados clímax de cada comunidad	Se pone énfasis en preservar los procesos
Se excluyen los disturbios de gran escala como los incendios	Incorpora al fuego como un disturbio propio del ecosistema
Se propone la supresión de todos los fuegos para protección	Se propone el manejo del fuego para la conservación

el guanaco, la mara y el choique; y un mayor peligro potencial de incendios de gran magnitud e intensidad por el material vegetal que se está acumulando. Estas observaciones deben ser corroboradas antes de tomar decisiones de manejo, pero todo parecería indicar que como sucede en muchos otros ecosistemas del mundo adaptados a la presencia de fuegos, su exclusión, más que favorecer el desarrollo de los procesos ecológicos, promueve la degradación de los recursos que se pretenden conservar. Mientras más exitoso es el control de los fuegos, más aumenta el peligro potencial de «incendios catastróficos», se reduce la heterogeneidad ambiental, la riqueza de especies disminuye; y en algunos casos se favorecen los procesos de arbustificación e invasión de especies exóticas.

El P.N. Mburucuyá (2000), es igualmente paradigmático. Antes de su creación como área protegida, fue un campo utilizado por más de un siglo para la ganadería y la agricultura, lo que ha provocado un deterioro de los pastizales con la presencia de numerosas especies invasoras poco palatables, y el inicio del proceso de arbustificación por leñosas sobre las comunidades del palmar-pastizal. Ello, sumado al aumento en biomasa de los pastizales por el retiro del ganado ha planteado la posibilidad de manejar, mantener y restaurar las comunidades del palmar-pastizal con el uso del fuego (Goldfab M.,

2001). Se trata en este caso del primer Parque que ha iniciado y está ejecutando exitosamente un programa de quemas controladas con fines de conservación.

El mismo camino habría que seguir en otras áreas protegidas como Otamendi (Bs. As., 3.000 has) y Pilcomayo (Formosa, 47.000 has), siendo menos claro el rol que cumpliría el fuego en los pastizales serranos del P.N. Quebrada del Condorito (Córdoba, 37.000 has).

5. Hacia un manejo del fuego

Los incendios forestales tienen una relación de mutua influencia con factores físico-químicos y bio-ecológicos del medio natural, y con factores humanos. Estas interacciones pueden resumirse en el siguiente esquema:

En virtud de ello, para definir un programa

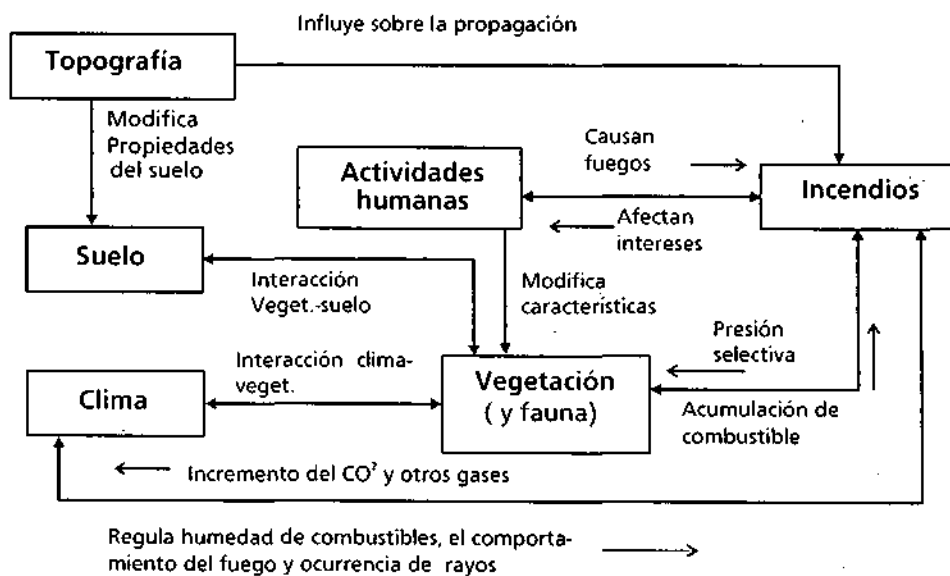


Figura 1. Intervención entre fuegos y factor del ambiente

de manejo del fuego dentro de un área protegida se deben tener presente al menos tres factores: a) ecológicos; b) socio-económicos; c) técnico-logísticos.

a) Ecológicos:

El gestionar un área natural protegida implica tener claramente definido cuáles son los objetivos de conservación que se pretenden alcanzar: genotipos, poblaciones, comunidades, paisajes, etc.; en qué estado se los pretende conservar; y qué estrategia se utilizará para lograrlo. En función de ello, el fuego puede ser un factor favorable o desfavorable para tales propósitos, pero para saberlo se requiere tener un acabado conocimiento de sus efectos positivos y negativos sobre la biodiversidad y el paisaje. ¿cómo afecta el fuego a los componentes físicos, biológicos y estéticos? ¿qué frecuencia, intensidad, tamaño y forma deben tener los fuegos? ¿cuál es la época del año más propicia para su uso? Etc. etc.

b) Socio-económicos:

La valoración del fuego en las áreas protegidas no es similar en todas las regiones. En el centro y en el noroeste del país los fuegos son una herramienta habitual en el manejo de los campos y su uso está ampliamente aceptado por las poblaciones locales (para mejorar pasturas, combatir malezas, quemar desechos, etc); en la Patagonia en cambio, es visto (en general) como un elemento negativo, que afecta gravemente las actividades económico-productivas, especialmente las forestales y turísticas. Estas diferentes valoraciones son una variable crítica al momento de definir su uso como herramienta de manejo, ya que la práctica ha demostrado que es casi imposible desarrollar cualquier programa de manejo en contra de las ideas o percepción de la opinión pública.

c) Técnico-logístico:

El fuego con fines de conservación de la biodiversidad, restauración de comunidades o

hábitats, control de especies exóticas, disminución de la carga de combustibles, etc; requiere, por una parte, de conocimientos mucho más acabados respecto del comportamiento de los fuegos y del manejo de las variables que lo regulan; y por otro, el uso o desarrollo de técnicas y medios diferentes a los utilizados para suprimir incendios no deseados.

Dentro de las áreas naturales protegidas, aún tratándose de fuegos no deseados, las técnicas de supresión deben ser cuidadosamente planificadas, ya que muchas veces pueden resultar más graves los efectos producidos por las acciones de control, que los que provocaría el fuego mismo (apertura de calles de penetración o cortafuegos, operación de medios aéreos en sitios críticos para la fauna, obtención de agua en ambientes críticos, uso de espumas o supresores químicos, etc).

Preparar una quema prescripta sin dejar huellas permanentes como los típicos cortafuegos, y ejecutarla bajo parámetros predefinidos para lograr un comportamiento deseado, no es lo mismo que controlar un incendio. Se requiere de brigadistas con una muy alta capacitación y entrenamiento, un equipamiento y una logística diferente. Adaptarse a estos nuevos requerimientos es el paso que en lo inmediato habrá que seguir.

6. Consideraciones finales

Hoy existen 3.850.000 has de territorio protegido por el Estado Nacional, distribuidas en 33 Parques Nacionales. En ellos están representados la mayor parte de las eco-regiones del país, donde la variedad de ambientes, situaciones sociales e historia ambiental es tan diversa que obliga a definir políticas regionales y en algunos casos locales, respecto al manejo del fuego con fines de conservación. Aún cuando la exclusión del fuego con fines de protección permanece vigente, es necesario complementarla con una mirada más amplia respecto de su rol en los ecosistemas.

7. Bibliografía:

APNa. sin fecha. Base de datos de incendios forestales. Coordinación de Lucha contra el Fuego. Bariloche, Río Negro.

APNb. sin fecha. Las áreas naturales protegidas de la Argentina. Administración de Parques Nacionales. Buenos Aires.

Frey E., 1922. En documentos históricos del Museo de la Patagonia. Bariloche, Río Negro.

Goldfarb M.C.; 2001: Dinámica de la vegetación del palmar-pastizal del Parque Nacional Mburucuyá bajo dos niveles de herbivoría y tres frecuencias de quemas prescritas: Informe de actividades 1997-2000. EEA INTA Corrientes.

Rothkugel M.; 1916. Los bosques patagónicos. Oficina de Bosques y Yerbales. Ministerio de Agricultura. Buenos Aires.

Willis Bailey. 1914. El norte de la Patagonia. Comisión de Estudios Hidrológicos. Ministerio de Obras Públicas. Editorial Universitaria de Buenos Aires.



Foto: Administración de Parques Nacionales

Encuadre jurídico del fuego prescripto

María Adriana Victoria^{1,2}



Congreso Foto: J. L. Panigatti

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Santiago del Estero y ² Facultad de Derecho, Universidad Católica de Santiago del Estero. e mail: mariaadrianavictoria@arnet.com.ar

1. Introducción

El uso del "fuego" ha engendrado, por sus efectos, polémicas tanto a nivel técnico como ambiental. En cuanto derivado de un "hecho humano" debe ser regulada su conducta por el Derecho, mas precisamente por la legislación.

El Derecho ordena las conductas de los hombres en la sociedad, nos indica un "deber ser", en cuanto señala cómo deben estar orientadas nuestras conductas, cualquiera sea nuestra manifestación exterior. Solo lo que está en el interior de nuestra conciencia y no se exterioriza de algún modo, no es objeto de regulación por parte del Derecho.

El Derecho trata de establecer un orden en la sociedad, a través de normas generales, con contenido social y de carácter obligatorio. Pero en la mayoría de los casos va por detrás de los hechos es decir que primero están los hechos técnicos, económicos, sociales, políticos, culturales, ambientales y luego su regulación jurídica. Por lo que ante nuevos hechos creados por el hombre o sucesos de la naturaleza que inciden en la vida del hombre, se dicta la norma que lo abarca señalando la conducta de los hombres en relación al mismo.

Precisamente, el uso del fuego prescrito o la quema controlada o quema racional, como también se le denomina, se trata de un hecho, el que no siempre está regulado jurídicamente, ya sea por una ley o reglamento o disposición o resolución.

La "importancia del tema" radica en el frecuente uso del fuego prescrito en las prácticas agrarias, como así también en el desconocimiento del régimen de responsabilidad que se deriva de los daños que pudiera ocasionar el mismo. Por ello se hace necesario su estudio fijándose como "objetivos", respecto al fuego prescrito: señalar los impactos positivos y negativos del mismo en cuanto hecho técnico; establecer los requisitos a cumplimentar por dicho hecho técnico como buena práctica agraria; encuadrar en la normativa jurídica tanto de Argentina como del derecho comparado; delinear los posibles daños que puede provocar el mismo y sus efectos jurídicos; efectuar el encuadre normativo del régimen de daños, responsabilidad y reparación que se pudiera derivar de tal hecho.

La "metodología" utilizada en el presente estudio, es la de derecho comparado, en base a la "teoría tridimensional del derecho" (norma, hecho-conducta y valor)¹, en un enfoque sistémico ambiental², en cuanto el ambiente está compuesto por diversos subsistemas: natural (recursos naturales renovables y no renovables); inducido o cultivado (actividad agrícola, ganadería-crianza de animales, silvicultura); creado (bienes materiales e inmateriales); humano.

Hay algunos "antecedentes normativos". Se usaba el fuego para combatir la plaga de la langosta en Argentina, de acuerdo a lo dispuesto por una ley nacional. Ya, de data mas reciente, se pueden citar algunas normas provinciales de Argentina, como ser: la ley n° 6099/94 de la provincia de Mendoza de prevención y lucha contra incendios en zonas rurales y su decreto reglamentario n° 768/95; la ley n° 5018/97 de igual nombre que la anterior, de Jujuy; la ley n° 8751/99 de la provincia de Córdoba, referida a normas y procedimiento para el manejo del fuego; la ley n° 1.354 de la provincia de La Pampa, que declara de interés provincial la prevención y lucha contra incendios en zonas rurales, el decreto reglamentario de la misma n° 1925/00 y la disposición n° 5/02, de la Subsecretaría de Asuntos agrarios que deroga la disposición n° 53/01; la ley n° 5350/02 de la provincia de San Luis, sobre uso del fuego como herramienta de manejo y/o control del medio ambiente que establece acciones, normas y procedimientos para la Prevención, Presupresión y Lucha contra incendios rurales, forestales y de interfase en todo el territorio provincial bajo riego y de secano; el proyecto de ley de la provincia de Santiago del Estero, el que fuera aprobado en general por la Cámara de Diputados de la Provincia, con un total de 28 artículos, faltando su tratamiento en particular.

Por otra parte, en el derecho comparado, hay algunos antecedentes normativos como ser: la Resolución Ministerial n° 131/97, reglamentación especial de desmontes y quemas controladas de Bolivia; los decretos de restricción del uso del fuego, el decreto de creación del Programa de prevención y control de quemas e incendios forestales en la Amazonía legal, la negociación de financiamiento del proyecto de Prevención y control de quemadas e incendios forestales en el arco de deforestación (PROARCO) de Brasil; los Decretos S. del Ministerio de Agricultura n° 276/

¹ GOLDSCHMIDT, Werner. Introducción filosófica al derecho. Buenos Aires. Depalma. 1980. REALE, Miguel. Teoría tridimensional del derecho. Valparaíso, Chile. Edeval. 1.978. pp. 7-149. ZELEDON, Ricardo. Desarrollo sostenible y derecho agrario. V Congreso Mundial de Derecho Agrario, in Unión Mundial de Agraristas Universitarios. Porto Alegre. Brasil. 19 al 22 de Mayo de 1998. pp. 95, 59. VICTORIA, María Adriana. Legitimación del conocimiento científico que interesa al derecho agrario, in Agriculture Law. 2. Unión Mundial de Agraristas Universitarios. San José de Costa Rica, Editorial Guayacán. 1994. p. 365.

² CANO, Guillermo. Recursos naturales y energía. Buenos Aires, La Ley, Fondo Editor de Derecho y Economía, 1979, p. 69.

80, reglamento sobre roce con fuego, n° 100/90, modificado por el Decreto n° 89/97 y los avisos de quema de Chile; la norma oficial mexicana de emergencia NOM-003-SEMARNAP/SAGAR, que regula el uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios, y que establece las especificaciones, criterios y procedimientos para promover y ordenar la participación social y del gobierno en la detección y el combate a los incendios forestales y el decreto n° 188.P.O. n° 563 del 22/12/93, del estado de Campeche de México; la ley del permiso (1.988) para realizar quemas de bosques, campos, ciénagas u otros tipos de vegetación combustible de Georgia (Estados Unidos de América del Norte) y el decreto de la Consejería del medio ambiente n° 247/01, de 13 de noviembre, por el que se aprueba el reglamento de prevención y lucha contra incendios forestales de Andalucía (España).

A su vez las normas sistémicas ambientales brindan un marco adecuado al regular los recursos naturales y el ambiente.

No se desconocen las normas forestales de Argentina, tanto de carácter nacional como la ley n° 13.273 que hacen alusión a los incendios pero no al fuego prescripto; o bien las aludidas normas provinciales que implementan Planes provinciales de manejo del fuego y el propio Plan Nacional de Manejo del Fuego, al que se adhirió la provincia de Santiago del Estero en el año 1996.

Obran "limitaciones", en cuanto: el hecho técnico fuego solo será considerado en cuanto fuego prescripto responde al uso de la técnica agraria realizada por el empresario o productor agrario y no como el ocasionado por otras personas ya sea de modo intencional u ocasional y, sólo se aludirá a la normativa jurídica a la que se hizo referencia en los antecedentes jurídicos.

Tema novedoso por cierto que amerita su estudio jurídico. De ahí el "aporte" que se puede realizar.

1. Impactos positivos y negativos del hecho técnico 'fuego prescripto'

No se puede desconocer el impacto del fuego en los ecosistemas naturales y en los agroecosistemas. Sus efectos pueden ser positivos o bien negativos.

Entre los "efectos positivos" se señala que "los pastizales necesitan fuegos periódicos para impedir la entrada de leñosas y su diversidad. Por otra parte se reconoce que factores como huracanes, plagas y fuego son necesarios para mantener la diversidad de los ecosistemas al dar oportunidad de crecimiento y acceso a los recursos a otras especies"³, por lo que el fuego sirve para el manejo de bosques y pastizales; más aún se señala que debe emplearse para manejar bosques comerciales, áreas de reserva y pastizales"⁴. Es así que el fuego prescripto tiene su utilidad en "diferentes momentos del desarrollo del bosque (natural o implantado), entre las que se pueden citar: la preparación del sitio para la plantación; el control de la vegetación (malezas); el manejo de los combustibles y la reducción del riesgo de incendios; la eliminación de residuos del raleo; la eliminación de residuos de las tareas de aprovechamiento"⁵. También se incluye entre los objetivos el "control de plagas y pestes; el mejoramiento de hábitat para fauna y mejora de la estética"⁶.

Respecto a los "efectos negativos", cuando el fuego prescripto no es aplicado correctamente, "puede dañar o destruir parcialmente o totalmente el bosque de distintas maneras: elimina renovales, daña los fustes y diámetros mayores, haciendo imposible la cosecha de individuos sanos de calidad, y facilita la entrada de plagas y

³ KUNST, Carlos. "El fuego y sus dos enfoques", in Fuego prescripto en plantaciones de pino. Documento preparado para uso en los Seminarios Quemadas prescriptas en plantaciones forestales", realizados en Posadas, Misiones, del 3 al 5 de septiembre y en Bariloche, Río Negro, del 15 al 17 de octubre de 1997. Editores. Ing. Agr. Carlos Kunst, PhD. Ing. Ftal. Norberto Rodríguez, MSc. Proyecto forestal de desarrollo. Secretaría de Agricultura, ganadería, Pesca y Alimentación. Con la colaboración del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero. CIEFAP Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. 1995, pp. 3

⁴ JHONSON y MIYANISHI. The need for consideration of fire behavior and effects in prescribed burning. *Restoration Ecology* 3:271-278, 1995, citado por KUNST, Carlos. "El fuego y sus dos enfoques", in Fuego prescripto en plantaciones de pino. Documento preparado para uso en los Seminarios "Quemadas prescriptas en plantaciones forestales"... Op. Cit. p. 7.

⁵ KUNST, Carlos. RODRIGUEZ, Norberto. "Plantaciones forestales comerciales. ¿Porqué usar el fuego prescripto?", in KUNST, Carlos. "El fuego y sus dos enfoques", in Fuego prescripto en plantaciones de pino. Documento preparado para uso en los Seminarios Quemadas prescriptas en plantaciones forestales"... Op. Cit. pp. 11- 13.

⁶ BRENNAN L. Y S. HERMAN. Prescribed fire and forests pests: solutions for today and tomorrow. *J. Forestry*, 92:34-37, 1994; MUTCHR. Fighting fire with prescribed fire. A return to ecosystem health. *Journal of forestry*, vol 92:31-34, 1994; WRIGHT H. Y A. BAILEY. Fire ecology in the United States and Canada. J. Wiley and Sons, New York, 1982, p. 501, citados por KUNST, Carlos. RODRIGUEZ, Norberto. "Plantaciones forestales comerciales. ¿Porqué usar el fuego prescripto?", in KUNST, Carlos. "El fuego y sus dos enfoques", in Fuego prescripto en plantaciones de pino. Documento preparado para uso en los Seminarios Quemadas prescriptas en plantaciones forestales"... Op. Cit. p. 12.

enfermedades, etc. Y si el fuego se practica en laderas, la potencial erosión posterior compromete seriamente la existencia y la calidad del sitio forestal⁷. Además puede producir daños en alambrados, equipos, maquinarias, tinglados, animales, cosechas, personas, fauna silvestre, etc.

A través de lo señalado se puede observar cómo el hecho técnico (fuego prescripto) inserto en el subsistema inducido o cultivado, en cuanto técnica de la actividad agraria (en cualquiera de sus especializaciones) o de la actividad ganadera o bien de la actividad forestal, impacta en el subsistema natural (suelo, flora, fauna) en cuanto interdepende con el mismo. A esto cabe agregar "la unidad de los ciclos" con que se rige la naturaleza.

A su vez el subsistema creado, en cuanto material, brinda los elementos necesarios al hombre para el desarrollo del fuego prescripto. Mientras que el inmaterial aporta la ciencia, la tecnología, los conocimientos, las prácticas para el desarrollo del mismo; ubicándose en este subsistema a las autoridades administrativas que deberían aprobar el plan de fuego prescripto y las instituciones que participan del mismo, como así también las normas jurídicas que deberían regular dicho hecho técnico y el régimen de responsabilidad y reparación que engendra.

Sin duda que produce incertidumbre el vacío legal imperante al respecto, al menos en nuestra provincia, no obstante que se disponen de normas generales las que pueden ser aplicadas en el caso de derivarse daños a las personas, su vida, bienes y el ambiente.

El recurso humano lo constituyen el empresario o productor agrario, los trabajadores del campo, los ingenieros agrónomos y forestales que asesoran o bien las empresas que llevan a cabo el cometido por encargo de los productores, cuyas decisiones y acciones producen efectos en los demás subsistemas referidos. De ahí la necesidad de una visión sistémica ambiental de la problemática.

2. Buena técnica agraria y fuego prescripto

Existen dos conceptos asociados con el uso del fuego como herramienta de manejo de los combustibles forestales: 1) quemas controladas,

es la eliminación de los combustibles (no susceptibles de utilizar, ni de incorporar al suelo) mediante el fuego y de acuerdo a normas preestablecidas para mantener el fuego bajo control; 2) quemas prescritas, eliminación de combustibles mediante el fuego y de acuerdo a normas preestablecidas reduciendo al mínimo el impacto ambiental negativo⁸. No obstante esto ambas denominaciones serán usadas en igual sentido.

En relación a su desempeño, el empresario o productor agrario tiene derechos pero también obligaciones, diríamos que más obligaciones que derechos; entre éstas últimas, está la buena técnica agraria. Y ésta hace a su idoneidad, capacidad profesional, experiencia.

Los "deberes de los empresarios agrarios" resultan, pues, del respeto a las normas que regulan su actividad. Así, pues, un correcto desarrollo de la actividad agraria supone el respeto a la legislación ambiental vigente, como son las leyes ambientales genéricas, las leyes sobre agroquímicos, la ley de bosques y las disposiciones sobre desmontes, las leyes sobre suelos, los códigos de aguas y las leyes sobre aguas subterráneas.

Los empresarios agrarios deben minimizar el daño al ambiente que pueda producir su actividad a través del manejo de técnicas compatibles con el ambiente y el conocimiento y aplicación de la mejor tecnología disponible en el momento para un aprovechamiento racional de los recursos. En este orden de ideas está el respeto a los códigos de buenas prácticas agrarias que el Estado hubiese elaborado y difundido.

También deben los empresarios agrarios prevenir y evitar la degradación de los recursos naturales y la contaminación. Esto supone una visión completa del proceso y una actitud de cuidado y control en cada una de las etapas.

El «derecho a un medio ambiente sano» (consagrado en la Constitución nacional de Argentina partir de la reforma del año 1994, conforme al artículo 41), convierte a toda persona y, por ende, a los empresarios o productores agrarios en titulares de dos obligaciones de: preservarlo y recomponerlo en caso de ocasionar un daño a alguno de sus elementos por incumplimiento de la primera. Sin embargo, en materia ambiental no siempre es posible lograr la recomposición de las cosas a su estado anterior y únicamente

⁷ KUNST, Carlos. "El fuego y sus dos enfoques", in Fuego prescripto en plantaciones de pino. Documento preparado para uso en los Seminarios Quemadas prescritas en plantaciones forestales... Op. Cit. p. 3

⁸ Corporación para el desarrollo sostenible del norte y el oriente amazónico C.D.A. Subdirección de Recursos Naturales. Prevención y control de incendios forestales. Manual de consulta. Proyecto "capacitación para la prevención y control de incendios forestales". Convenio especial de cooperación para programas de competitividad y desarrollo tecnológico productivo entre el servicio nacional de aprendizaje -SENA-, las Corporaciones de desarrollo sostenible y la Secretaría ejecutiva del Convenio Andrés Bello, -SECAB. Inirida, Guainía, noviembre de 1998.

podrá obtenerse una indemnización pecuniaria conforme lo establece el Código Civil argentino.

Los órganos gubernamentales, son junto a los particulares, sujetos pasivos de la obligación de preservarlo y la hace efectiva a través de una legislación que procure la utilización racional de los recursos naturales, la preservación del patrimonio natural y cultural y la biodiversidad biológica, la información y educación ambiental⁹.

El empresario agrario, debe aplicar la buena técnica agraria, cumplir, con el conjunto de obligaciones y deberes impuestos a la actividad que desarrolla, tanto en lo vinculado con la salud de los consumidores y trabajadores como con el ambiente y los recursos naturales productivos¹⁰. El mismo "debe desarrollar buenas prácticas agrarias y tener muy presente, en el momento de desarrollar su actividad económica, la cadena de producción-consumo, para una mejor orientación de la misma" y el logro de competitividad, en suma su conducta debe ser la de un buen productor agrario¹¹.

El « hecho técnico », en términos generales, hace referencia a la naturaleza de las cosas, y se presenta como antecedente necesario y lógico de las proposiciones legales y soporte de la regla jurídica, a la par que implica organización y gestión del proceso productivo de la actividad agraria (tiempo y forma de producción) que debería traducirse en una racionalidad tecnológica, tal es en una « buena técnica agraria », actualmente se habla de una producción cualitativa y de protección del medio ambiente, de un "nuevo modo de producir en el cual se conjugan las exigencias de la agricultura con el ambiente, las exigencias de la producción con las de la calidad, las exigencias del productor con las del consumidor"¹².

Los conceptos de agricultor, como guardián de la naturaleza, o bien el del buen labrador, plantean un conjunto de limitaciones al ejercicio de la actividad productiva agraria, concep-

tos que actualmente se amplían desde la perspectiva de los mercados comunes dado las exigencias que plantean los mismos y los consumidores. Interesa asegurar tanto la calidad de los suelos, las aguas, el aire, la flora, la fauna silvestre y el paisaje como la calidad alimentaria de los frutos y productos agrarios.

Este deber ser amplía los fines del instituto jurídico empresa agraria y por ende su configuración. Y, en el marco del desarrollo sustentable y de la internacionalización de la agricultura, debería privilegiarse a las empresas agrarias compatibles con el ambiente. Todo ello a la luz de la solidaridad, la valoración social de la naturaleza y de la actividad productiva agraria, del bien común y el uso más adecuado de las cosas conforme a su naturaleza¹³.

El empresario agrario, es un sujeto que a la par de bienes produce servicios, entre ellos la conservación y valoración del ambiente rural. Y así, la protección del medio ambiente se manifiesta tanto cuando interviene para limitar y condicionar el ejercicio de la actividad de la empresa (normas sobre no contaminación), como cuando califica positivamente actividades organizadas en el mismo contexto, como en el caso de las actividades agrícolas que tienen objetivos de conservación y valoración del medio ambiente¹⁴.

La calidad agroalimentaria y agroambiental se muestran como el nuevo paradigma del siglo XXI¹⁵, aunque solo el transcurso de los años podrá confirmarlo o no. Inicios del mismo que se manifiesta signado por la escasez de los recursos hídricos en cantidad y calidad, sobre todo en las zonas áridas de Argentina, sin mejores perspectivas. Las presiones no solo de la industria sino también de la agricultura sobre el medio ambiente son notorias.

Las perspectivas de los estudios efectuados por FAO para el 2020 consideran una mayor intensificación de los sectores agrícola y ganadero y por ende una mayor intensificación en el uso de la

⁹ PAREDES, Viviana A. Responsabilidad por afectación al medio ambiente. Jurisprudencia Argentina, in 1996, tomo III, pp.833-837.

¹⁰ VICTORIA, María Adriana. Transgresiones al deber ser de la actividad agraria. II Congreso del Comité Americano de Derecho Agrario. Derecho Agrario como fuente de desarrollo. Guayaquil e Isla de Santa Cruz (Galápagos). Ecuador. 21 al 27 de Septiembre de 1998.

¹¹ GELSI BIDART, Adolfo. Estudio del derecho agrario. Parte General. Vol. 1. Montevideo, Acali Editorial, 1977, p. 29.

¹² ROMAGNOLI, Emilio. Intervento, in Introduzione allo studio del diritto agrario comunitario, a cura di GOLDONI, Marco. MASSART, Alfredo. Scuola Superiore di Studi Universitari e di Perfezionamento S. Anna. Associazione Italiana Cultori di Diritto Agrario, Pisa, Edizioni DETS, 1995, p. 47.

¹³ DELGADO DE MIGUEL, Juan Francisco. Derecho agrarioambiental. Propiedad y Ecología. Pamplona, España, Aranzadi Editorial, 1992, p. 64.

¹⁴ ALESSI, Rosalba. Desarrollo sostenible, conservación del medio ambiente y empresa agrícola. Unión Mundial de Agraristas Universitarios. 5- Agricultural law, Porto Alegre, Brasil, 1999.

¹⁵ VICTORIA, María Adriana. "El derecho agrario para el comienzo del nuevo milenio: entre el desarrollo sustentable y la globalización de la economía", in RODAS, Juana del Valle y BAIGORRIA de ADET, Emilia. Compiladoras. Articulación de artes y ciencias. Primeras Jornadas. Secretaría de Cultura de la provincia de Salta, Dirección general de acción cultural. Gófica Editora, abril de 2001, Salta, pp. 210-231.

tierra y del agua. Se señala que "en el futuro se utilizarán más fertilizantes minerales y, en menor medida, plaguicidas y la progresiva introducción de tecnologías inocuas para el medio ambiente sólo podrá atenuar moderadamente el aumento del uso de plaguicidas en los próximos 20 años: no invertirá las tendencias de una utilización creciente"¹⁶.

Los derechos humanos fundamentales a: el ambiente, el desarrollo sustentable, la calidad de vida, la salud, la biodiversidad brindan un marco cardinal a la regulación jurídica que planean las actividades productivas, tanto del sector primario como del secundario, impregnándolas de una nueva axiología basada en la solidaridad, derechos receptados por relevantes documentos internacionales¹⁷, derechos que limitan de cierto modo la libre competencia y el libre ejercicio de la iniciativa privada. Ante ello, el Estado no puede permanecer inactivo, debe dictar y administrar normas ya sea con carácter obligatorio o bien de aplicación voluntaria sobre preservación y conservación, manteniendo y mejorando la calidad de los recursos naturales, para su uso eficiente, racional y equitativo, estableciendo un equilibrio entre la continua tensión de los intereses individuales y sociales, en una vocación que debe ser de justicia redistributiva y social. A la vez, debe preservar la salud de los consumidores y trabajadores de los sectores económicos involucrados.

En la actividad agraria el fuego se emplea actualmente no solo para tareas de rutina en pastizales y bosques, sino también se acepta que es un factor formador de los mismos, tal como el clima y el suelo.

Es necesario la buena técnica agraria en todo el proceso productivo. En Argentina, se dictó la Guía de buenas prácticas de higiene y agrícolas para la producción primaria (cultivo-cosecha), empaçado, almacenamiento y transporte de hortalizas frescas, aprobada por la Resolución n° 71/99 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación, cuyo organismo de aplicación es el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). En la misma se pauta el modo de hacer, realizar la actividad desde el laboreo hasta empaque de los

frutos; el mismo cumple una función pedagógica en cuanto pauta conductas a realizar las que no revisten el carácter de obligatorias, por ello es que se trata de un derecho blando, no duro, en cuanto no es obligatorio. Ha sido dictado a los fines de promoción y fomento de la actividad, pero debería estar acompañado de su difusión y de una línea de créditos o subsidios para quienes lo apliquen. A su vez, por resolución del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), n° 233/98, se modificó el reglamento de inspección de productos, subproductos y derivados de origen animal, en lo referente a las normas de "Buenas prácticas de fabricación y los procedimientos operativos estandarizados a que deberán ajustarse los establecimientos que elaboren, depositen o comercialicen alimentos".

En Italia, ya en el ámbito nacional se dictó el Código de buena práctica agrícola para la protección de las aguas de los nitratos (1993). El mismo está destinado a los servicios de desarrollo agrícola, o sea a los extensionistas agrícolas de base ya sea que operen en la administración pública o bien en la autogestión de las organizaciones profesionales, en particular especializadas en pedagogía y conservación del suelo y en la gestión de la cría de animales.

En España, cabe citar, referidos a la actividad agraria los códigos de buena práctica emanados de: la Junta de Castilla y León (1998), la Comunidad de Madrid y el Manual de gestión de los residuos derivados de la actividad ganadera de la Comunidad de Madrid. En Inglaterra, obran algunos códigos como ser: el Code of good agricultural practice for protection of water (1991); el Code of good Agricultural for the protection of air (1992); el Code of good agricultural practice for the protection of soil (1993), de los cuales reviste carácter obligatorio el referido a las aguas.

En el ámbito de la Comunidad Europea, en cumplimiento de la directiva del Consejo n° 676/91 referida a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias que establece que los Estados miembros elaboren uno o más códigos de buena práctica agraria, de aplicación discrecional por los agricultores, entre otros países

¹⁶ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Alexandratos Nikos. Agricultura Mundial: hacia el año 2010. Estudio de la FAO, Madrid, España, Ediciones Mundi Prensa, 1995, pp. 13, 15, 21.

¹⁷ Conferencia de Naciones Unidas sobre Desarrollo sustentable (Johanesburg, 2002); Conferencia de Naciones Unidas sobre Desarrollo y medio ambiente (Rio de Janeiro, 1992); Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina. BID, Nuestra Propia Agenda (Washington, 1990); Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. Nuestro Futuro Común, Madrid, Alianza Editorial (1987); Conferencia de Naciones Unidas (Carta de la Naturalezas de Nairobi, 1982); Conferencia de Naciones Unidas sobre Desarrollo y Ambiente Humano (Estocolomo, 1972); Agenda 21; Conferencia de las Naciones Unidas sobre el agua (Mar del Plata, Argentina, 1977); Consejo de Europa, Carta Europea del Agua. (Strasburgo, 1968).

La dimensión ambiental nos aporta los principios de uso racional de los recursos naturales, preservación, conservación, manejo, prevención, precaución, desarrollo sustentable, solidaridad. Ha de hacerse una valoración social de la naturaleza y sus recursos naturales renovables, conciliando producción-naturaleza-ambiente.

Es necesario un "nuevo modo de producir", compatible con el ambiente: producción cualitativa, producción-protección.

El empresario o productor es el guardián de la naturaleza por excelencia aunque no se desconoce respecto a su necesidad de una mayor rentabilidad. Pero hoy en día dicha rentabilidad no debe ser el resultado de una explotación irracional de los recursos naturales renovables sino de su uso racional y eficiente, basado en una competitividad pero a partir de su especialización, capacitación, de una producción cualitativa diferencial a través de sellos o certificaciones de calidad como las ISO 9000 (de gestión empresarial) o 14.000 (de gestión ambiental); normas IFOAM (sobre producción orgánica o ecológica); denominaciones de origen e indicaciones geográficas; la trazabilidad. Ello aporta al desarrollo sustentable rural.

El fuego prescripto o quema controlada o quema racional debe ser enmarcado dentro de la buena técnica agraria, teniendo en consideración el ecosistema en el que impacta, por lo que debe ir acompañado de un plan en el que conste la prescripción, es decir de una indicación de su uso. Y dicha indicación estará en función a los objetivos buscados, a las condiciones del material combustible (cantidad, tamaño, distribución y contenido de humedad en el mismo); a las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad relativa del aire, lluvias y velocidad del viento) y a las condiciones del terreno (exposición y pendiente)¹⁸. Con precisión se deben estipular las condiciones de su desarrollo, conforme a un plan en el que conste la prescripción, es decir cuándo, cómo, por qué medio, en qué extensión quemar. Se deben pautar las distintas acciones, conforme a un encuadre legal. Se deben tener en cuenta las maneras apropiadas de encender fuego (técnicas y diseños de ignición).

Se deben especificar las técnicas de ignición, las herramientas, las líneas de apoyo y cortafuegos, los tipos principales de fuego. En cuanto a los diseños de ignición el fuego en franjas, el fuego en puntos, el fuego de flanco.

Asimismo ha de tenerse en cuenta las variables que hacen referencia a: la intensidad del fuego, la velocidad de avance del fuego, la temperatura del aire, la humedad relativa del aire, la humedad del combustible, entre otras.

La formulación del plan es fundamental y sobre todo si el mismo fuera puesto a consideración de la autoridad de aplicación para su aprobación, con la posterior evaluación, una vez cumplimentado.

En dicho plan debería figurar el conocimiento del lugar a quemar; la autorización de la quema; la duración de la quema; los sujetos responsables de las distintas tareas; las condiciones ambientales; los trabajos a realizar sobre el lote a quemar; las herramientas y equipos a utilizar; la capacitación del personal; la liquidación de la quema; el manejo de contingencias. Es decir que el plan contiene el desarrollo de las acciones a realizar como así también algunas previsiones.

El contenido de este plan debería ser incorporado a la normativa jurídica de aplicación al fuego prescripto o quema controlada.

En relación a las obligaciones del productor o empresario agrario y de los profesionales ingenieros agrónomos o ingenieros forestales o empresas, por la posible aplicación del fuego prescripto se distinguen las obligaciones de medio y de resultado.

Las "obligaciones de medio" se refieren a la conducta del sujeto obligado quien debe observar las condiciones y direcciones determinadas (por ejemplo, las normas que reglamentan el fuego prescripto si son realizadas por un ingeniero agrónomo o un ingeniero forestal en su carácter de asesor de dicha práctica conforme a un plan de trabajo). Las "obligaciones de resultado", tienden a obtener un resultado determinado (por ejemplo el fuego prescripto encargado como tarea a realizar por una empresa o un ingeniero agrónomo o el propio empresario o productor agrario). Se puede incluir en esta categoría a las obligaciones de preservar y de recomponer el medio ambiente.

Dicha distinción adquiere importancia al momento de determinar las consecuencias y efectos que acarrea su incumplimiento, es decir a la responsabilidad emergente. Cuando la obligación es de resultado, al demandante le bastará probar el incumplimiento, el que genera una presunción de culpa en contra del sujeto titular de la carga quien deberá demostrar la ausencia de culpa o el caso fortuito; conforme al artículo

¹⁸ KUNST, Carlos. RODRIGUEZ, Norberto. "Plantaciones forestales comerciales. ¿Porqué usar el fuego prescripto?", in KUNST, Carlos. "El fuego y sus dos enfoques", in Fuego prescripto en plantaciones de pino. Documento preparado para uso en los Seminarios Quemadas prescriptas en plantaciones forestales"... Op. Cit. p. 11.

1113 del Código Civil argentino la responsabilidad será objetiva.

Si la obligación es de medio, la responsabilidad por incumplimiento será subjetiva ya que corresponde al demandante la prueba de la culpa, la que en materia de daño agroambiental puede tornarse diabólica ante la dificultad de su determinación¹⁹.

Junto a los empresarios o productores agrarios, se encuentran a menudo profesionales en la materia de la producción, los cuales cumplen importantes funciones, principalmente de asesoramiento y eventualmente de dirección de la producción. Tienen las siguientes obligaciones: mantenerse en un constante proceso de actualización de los conocimientos teóricos y en técnicas de producción; lograr el óptimo manejo de los recursos productivos con una permanente actualización tecnológica. Deben conservar el capital ecológico (suelos, agua, biodiversidad, clima, etc.), y recuperarlo o mejorarlo. En esto tienen un papel destacado, aplicando sistemas de producción conservacionistas y ecocompatibles.

Los profesionales tienen responsabilidad agravada y mayores deberes que el ciudadano común, ya que en caso de causarse a través de su actuación profesional un daño (por ejemplo el profesional que receta equivocadamente un pesticida prohibido, que es dañoso para el medio ambiente y para el cultivo; o el caso de quien resta importancia a una plaga, que destruye totalmente el cultivo o cuando desarrolla un plan de fuego prescripto sin tener en cuenta las variables climáticas del lugar, cantidad de empleados, etc.), entra a jugar la responsabilidad por culpa, especialmente agravada conforme los arts. 512 y 902 del código civil argentino, que hacen referencia a las diligencias que exigiere la naturaleza de la obligación, y que correspondiesen a las circunstancias de las personas, del tiempo y del lugar (art. 512); y al mayor deber de prudencia y pleno conocimiento de las cosas, que da lugar a una mayor obligación que resulte de las consecuencias posibles de los hechos (art. 902).

Si el profesional se limita al asesoramiento del productor, su obligación es de medios. En caso de daño por culpa en el ejercicio de su profesión, el perjudicado deberá probar tal culpa.

Pero en el caso de que se comprometa a ejecutar una determinada obra o resultado, su obliga-

ción es de resultado, y en tal caso, de no obtenerlo, debe probar, para exonerarse de responsabilidad, la existencia de alguna causal adecuada.

También el Estado tiene el deber de regular el uso de los recursos naturales y todo lo concerniente a la protección del medio ambiente.

Conforme lo dispone el ya citado art. 41 de la Constitución Nacional de Argentina, "...Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales. Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarla, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales...". Asimismo, corresponde al Congreso dictar la ley referida a la obligación de recomponer el ambiente y la ley que regule lo atinente a los requisitos y forma de las asociaciones que tengan como fines proteger los derechos de incidencia colectiva, que están legitimadas para interponer acción de amparo.

Pero las obligaciones del Estado con relación a esta problemática no se agotan en el ejercicio de la potestad legisferante, sino que debe poner todos los medios necesarios para que tal legislación se cumpla. Esto supone control, vigilancia, aplicación de sanciones, etc. En definitiva, una recta administración y gestión de los recursos naturales.

También tiene la obligación de actualizar todas las normas que se refieren a la protección de los recursos naturales y los manuales de buenas prácticas agrarias de acuerdo a los avances tecnológicos, a fin de definir el camino hacia el uso en las actividades agrarias de la mejor tecnología disponible y de mayor compatibilidad con la preservación del ambiente²⁰.

El Estado debe pautar, en especial, la obligatoriedad de la evaluación del impacto ambiental para ciertas actividades agrarias, como por ejemplo, la de cría intensiva de ganado, y debe establecer normas que regulen el fuego prescripto. También es responsabilidad del Estado llevar adelante una política de defensa, preservación y recuperación de los recursos naturales. Debe favorecer e incentivar las actividades agrarias que supongan la recuperación del medio ambiente rural y la reforestación de zonas degradadas.

¹⁹ VÁZQUEZ FERREIRA, Roberto A. Responsabilidad contractual objetiva, in La Ley. 1998. Tomo B. pp. 999-1.004.

²⁰ VICTORIA, María Adriana. "Hacia una responsabilidad civil agroambiental y agroalimentaria", in Revista de la Secretaría de Ciencia y Técnica (SeCyT) n° 7/8. Universidad Católica de Santiago del Estero, Santiago del Estero, abril-noviembre 2002. pp. 75-132. VICTORIA, María Adriana. Directora y Compiladora. AGÜERO, Elisa. DIAZ LANNES, Federico. MAUD, Ana María. VICTORIA, María Adriana. ZEMAN, Claudia. Autores. "Responsabilidad civil agroambiental y agroalimentaria". Universidad Católica de Santiago del Estero, Santiago del Estero, 2001 (en prensa).

Tanto la legislación como la política y la administración de los recursos naturales debe prestar especial atención a la prevención de daños como los incendios forestales.

Además, el Estado debe asegurar a los ciudadanos mecanismos procesales ágiles para responder con rapidez y eficacia a los daños al agroambiente, estableciendo una legitimación amplia para su tramitación.

3. Normativa jurídica

No siempre el fuego prescripto o quema controlada o quema racional ha sido objeto de regulación jurídica; a ello aportan algunos datos normativos de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Estado de Campeche (México), Estado de Georgia (Estados Unidos de América del Norte) y Andalucía (España).

Diversos son los criterios que posibilitan el análisis de dicha normativa, entre ellos: la nomenclatura utilizada; la recepción de las normas técnicas que efectúa la normativa; el procedimiento utilizado para la quema controlada (requisitos a cumplimentar, autorización de la Administración, control por parte de la misma, arancel); prohibiciones, infracciones y sanciones; daños y perjuicios; sistema de responsabilidad.

3.1. Nacional y provincial de Argentina

En Argentina, a nivel nacional hay un vacío legal en lo que respecta al fuego prescripto, el que no debe tener la misma consideración que el fuego que da lugar a los incendios forestales por parte de otros sujetos distintos al productor o empresario agrario en cumplimiento del desarrollo de su actividad.

A nivel provincial, se destaca la normativa ya referida que regula sobre planes integrales de prevención contra incendios rurales; determina la autoridad de aplicación; establece normas que prescriben o señalan la conducta a seguir para la quema prescripta; las sanciones en caso de incumplimiento.

La legislación de la provincia de Mendoza ya aludida, señala que "la Autoridad de aplicación elaborará un plan integral de prevención contra incendios rurales y para ello deberá, entre otras tareas, establecer por vía reglamentaria las condiciones en que deberá realizarse la quema prescripta, la autorización que en cada caso haya de solicitarse y los sitios y momentos en que la misma será limitada o prohibida".

La normativa referida de Córdoba, tiene por objeto establecer las acciones, normas y procedimientos para el Manejo del Fuego, abarcando las etapas de prevención y lucha contra incen-

dios en áreas rurales y forestales en el ámbito del territorio de la provincia de Córdoba. La Autoridad de Aplicación de la ley es el Ministerio de la Producción y Trabajo, a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables.

Se determina entre las "funciones y atribuciones" de la Autoridad de Aplicación: "autorizar, a modo de excepción, la utilización del fuego en quemas controladas y prescriptas. Pero en ningún caso dicha autorización podrá recaer en áreas naturales, reservas y bosques naturales o implantados". Además se estipula que: "queda prohibido el uso del fuego en el ámbito rural y/o forestal, salvo en aquellos casos en que se cuente con autorización emanada de la Autoridad de Aplicación, conforme a lo señalado precedentemente y en las condiciones que se establecen en la presente ley y su reglamentación. El uso del fuego en violación a esta norma, dará lugar a las sanciones previstas en la ley.

Asimismo la normativa ya aludida de La Pampa dispone que: para la utilización del fuego en quemas prescriptas, ya sea como herramienta de manejo o para prevenir incendios, en áreas naturales como de cultivo deben requerirse la "autorización" de la autoridad de Aplicación. La reglamentación establecerá las condiciones que permitan la preparación para la quema (equipo, personal, tipo de terreno, oportunidad, etc.), su ejecución y posterior tratamiento del suelo.

A tales efectos la reglamentación, en relación a la quema prescripta entiende que se trata de la única modalidad autorizada para el uso del fuego como herramienta de manejo del ecosistema. Entiende por quema prescripta a: "el uso de fuego bajo condiciones controladas y acotadas, con el objetivo de: reducir el peligro de fuegos accidentales o espontáneos, incrementar la productividad ganadera, controlar plagas y enfermedades, mejorar el uso del agua y/o calidad del hábitat de la fauna silvestre". Esta práctica solo podrá realizarse bajo las condiciones y modalidades que a tal efecto establezca la Autoridad de Aplicación.

A fin de ejecutar la práctica del fuego prescripto y sin perjuicio de los restantes requerimientos que efectúe la Autoridad de Aplicación, los interesados deberán acreditar: 1) identidad (mediante copia auténtica de su documentación personal identificatoria). 2) legítima ocupación del o de los inmuebles rurales, mediante certificado de dominio expedido por la Dirección General del Registro de la Propiedad del Inmueble, copia auténtica de contratos de explotación vigentes (los poseedores de inmuebles rurales, con o sin justo título, deberán adjuntar constancia expedida por el Juez de Paz de la localidad, del tiempo del ejercicio de la posesión y

si la misma se ejercita sin contradicción). 3) Asimismo deberá acompañarse un plan técnico circunscripto al sector respecto del cual se pretende implementar la práctica, y completarse los formularios que como Anexos I y II forman parte de la normativa. En todos los casos deberá adjuntarse el plano de ubicación del inmueble, croquis de acceso al predio, linderos, apotreramiento y aguadas.

Previo a efectuar la quema prescripta autorizada, el solicitante deberá notificar a la Autoridad de Aplicación, a los titulares de los inmuebles linderos, y a la autoridad policial más próxima al inmueble rural, la fecha, hora y modalidad de la práctica a realizar. En todos los casos el interesado será personalmente responsable por la ejecución de la misma.

Las áreas afectadas por quemas prescriptas o como consecuencia de incendios y que sean declaradas en emergencias, desastre agropecuario o con apoyo crediticio, deberán ponerse en producción después que directivas y prescripciones técnicas, garanticen la recuperación del recurso natural y su ambiente.

Ya más específicamente, la normativa de La Pampa, establece el período anual en que podrán realizarse las quemas prescriptas (entre el 1° de marzo y el 31 de agosto del año en curso) y la solicitud deberá interponerse hasta el día 30 de julio del corriente año. En todos los casos resultará condición indispensable para el otorgamiento de la autorización, que los respectivos inmuebles cuenten con picadas cortafuegos perimetrales de al menos diez (10) metros de ancho para la Zona Centro y de al menos cinco (5) metros de ancho para la Zona Oeste. Dichas picadas deberán estar libres de materiales vegetales, a excepción de cultivos en estado vegetativo o vegetación espontánea que por sus características no pueda entrar en ignición. En ningún área de la picada se permitirá la continuidad de material combustible.

Se autorizará la quema prescripta sobre una superficie máxima de seiscientos veinticinco (625) hectáreas en la Zona Centro, y sobre la cuarta parte del total de la superficie como máximo, del inmueble ubicado en la Zona Oeste. Sólo se otorgarán autorizaciones, transcurridos cuatro años de efectuada una quema prescripta sobre el inmueble o transcurrido idéntico plazo desde la ocurrencia de incendio sobre el mismo.

Otorgada la pertinente autorización, la práctica de la quema prescripta podrá efectuarse bajo la siguiente modalidad: 1) Hasta noventa y seis horas después de ocurrida una precipitación superior a los veinte milímetros. 2) Con viento inferior a los veinticinco Km/h., una temperatura del aire inferior a los 23° C y una humedad relativa ambiente superior al 30%. 3) Las operaciones deberán principiar con posterioridad a las 14

horas, siempre que no se hayan producido cambios en la dirección del viento de más de 45° en las últimas tres horas y no se observen nubes cumuliformes. 4) Deberán realizarla al menos 5 personas aptas para la tarea, provistas de palas, elementos para iniciar la ignición, vehículos, medios de comunicación y todo otro elemento de seguridad provisto por el interesado. 5) Las tareas se ejecutarán en todos los casos, en sentido contrario al viento previendo las medidas a adoptar a fin de que el área a quemar sea rodeada con fuego en el plazo máximo de 6 horas.

El interesado deberá comunicar a la autoridad de aplicación su voluntad de iniciar la actividad de quema, en un plazo no menor de 6 horas ni mayor de 48, indicando la fecha, hora y modalidad de la práctica. Igual comunicación deberá efectuar a los titulares de los inmuebles linderos y a la autoridad policial más próxima al inmueble rural.

En caso de solicitar el servicio de asesoramiento para la realización de la quema autorizada por medio del personal especializado de la Dirección de Recursos Naturales, deberá abonar por adelantado el costo del servicio fijado en la Ley Impositiva del año 2002 de \$ 0,90 por hectárea a quemar y \$ 0,47 por kilómetro recorrido desde Santa Rosa al predio autorizado. Queda a criterio de la Autoridad de Aplicación la excepción al pago del mismo en casos especiales de promoción y/o investigación.

En caso de no haberse realizado la quema autorizada oportunamente, el interesado lo comunicará a la Autoridad de Aplicación, dentro de los 30 días posteriores a la fecha prevista.

La normativa provincial de Jujuy, ya referida, define qué se entiende por: bosques; combate; cortafuego; detección; incendios forestales; manejo del fuego; manejo de combustible; pastizal, pastura o pajonal; patrimonio forestal provincial; plan de quema; prevención; quema; quema controlada; rastrojo; roza; terreno forestal.

Se señala que: "los planes de prevención y lucha contra incendios en áreas rurales y/o forestales podrán permitir el uso del fuego controlado como técnica de manejo o para prevenir incendios en áreas rurales forestales y/o de cultivo. La quema controlada racional entenderá como la acción de usar el fuego para eliminar vegetación en forma dirigida circunscripta o limitada en un área previamente determinada conforme a normas técnicas preestablecidas, con el fin de mantener el fuego bajo control".

Se prohíbe: "la quema de pajonales, pastizales o escombros forestales de la comunidad, salvo expresa autorización de la autoridad competente y en las condiciones que ésta establezca".

"La utilización del fuego en quemas controladas o racionales requerirá de autorización del organismo de aplicación y se realizarán única y

exclusivamente bajo las condiciones que se establezcan por vía reglamentaria. El Poder Ejecutivo Provincial deberá tener en cuenta en la reglamentación las condiciones mínimas de seguridad para el otorgamiento de la autorización de predios que cuenten con calles perimetrales, cortafuegos, picadas interiores y alambrado perimetral, salvo en las zonas en que la autoridad de aplicación no lo considere imprescindible". "A efectos de la autorización, asesoramiento y control de quemas, el solicitante abonará un arancel que será percibido por la entidad que tuviere a su cargo la supervisión y control de la quema a fin de sufragar los gastos de dicha actividad. El Monto, forma de percepción y procedimiento administrativo se fijarán por vía reglamentaria.

"La autorización deberá ser acompañada por un informe técnico realizado por un profesional universitario, con competencia en la materia, que la fundamente; en la misma se fijará la fecha en la que podrá realizarse la quema, según el calendario que elaborará la autoridad de aplicación y que deberá ajustarse a la zonificación a que hace referencia la presente Ley". "En cada caso, la autoridad de aplicación decidirá sobre los recursos humanos y equipos necesarios para la supervisión y control de las quemas autorizadas".

El proyecto de ley sobre prevención y lucha contra incendios en áreas rurales y/o forestales de la provincia de Santiago del Estero, coincide casi en su totalidad con el texto de la mencionada ley de Jujuy.

La ley de San Luis, señala que: "queda prohibida la quema como herramienta de manejo, salvo autorización previa, expresa y fehaciente de la Autoridad de Aplicación, debidamente homologada por Decreto del poder Ejecutivo, como requisito previo e indispensable para su realización. A tal fin se establecerá, por reglamentación, condiciones, límites geográficos, oportunidad, y controlará su ejecución y posterior tratamiento del suelo". "La autoridad de aplicación podrá autorizar la realización de quemas controladas con el único fin de atacar el fuego declarado".

La normativa provincial de Córdoba también alude a: el Plan anual de prevención y lucha contra el fuego; el Mapa de zonificación riesgo de incendio; el fuego declarado; el fondo de prevención de incendios.

A su vez la normativa de la provincia de La Pampa se refiere a: la elaboración de un Plan integral de prevención y lucha contra incendios conforme a las características de cada zona, estableciéndose en relación a las picadas y los fuegos. Asimismo se determina la integración del Servicio de lucha contra incendios y el plan provincial de picadas cortafuego.

En la provincia de Mendoza se dispone respecto a: las acciones que debe contener el Plan (incluida la evaluación); las acciones posteriores; las tareas de prevención; la planificación para la prevención (Plan de recuperación de suelos en el área afectada por los incendios).

En la provincia de Jujuy se regula en relación al mapa de zonificación y a los plan anual de prevención.

La ley de San Luis, crea el Plan Provincial de Prevención, Presupresión y Lucha contra incendios rurales, forestales y de interfase en todo el territorio provincial.

4. Derecho comparado

Interesan los aportes normativos de algunos países de : América del Sud como ser Bolivia, Brasil y Chile; América del Norte, tales como el Estado de Campeche (México) y la norma de Georgia (Estados Unidos de América del Norte) y, Europa, las normas de Andalucía (España).

4.1. Bolivia, Brasil y Chile

En Bolivia, hay una reglamentación especial de desmontes y quemas controladas. En tal sentido la Resolución Ministerial n° 131/97, la que brinda reglas de carácter técnico-legal para realizar desmontes y quemas en las tierras de cobertura boscosa aptas para diversos usos y para su correspondiente monitoreo por parte de la Superintendencia Forestal, y de esa manera evitar la deforestación en áreas no aptas para otros usos y reducir el impacto negativo de la deforestación, la quema de la madera utilizable y los incendios forestales.

Dicha resolución define a la quema controlada como "una quema voluntaria, a la que se deja extenderse sobre un área determinada, perfectamente aislada, para reducir el riesgo de expansión del incendio". Señala las normas específicas para las quemas controladas, las que deben ser programadas por los titulares del derecho y autorizadas por la Superintendencia Forestal, o en caso de delegación de funciones, por la Unidad Forestal Municipal o Mancomunidad de Municipalidades. También rigen normas para las empresas desmontadoras y la distribución de responsabilidad técnico legal entre la desmontadora y el propietario.

Se regulan los derechos de desmonte y quemas controladas, a tales fines se debe efectuar una solicitud de permiso de desmonte, distinguiéndose entre desmontes con superficies mayores a 5 Ha. y menores de 5 Ha. En el último caso, diferenciándose entre propiedades privadas fuera de zonas de colonización y en zonas de colonización y en otras áreas. También se deben solicitar "permisos" para la quema de

pastizales ante la Superintendencia Forestal, la que podrá efectuar verificaciones sobre la aplicación de medidas de prevención de incendios forestales. Y si en el plazo de 30 días después de presentada la solicitud a la instancia correspondiente de la Superintendencia Agraria ésta no responde a dicha petición, se considerará como aprobada por silencio administrativo. En caso de presentarse dos o más solicitudes para la realización de desmontes sobre una misma área, la Superintendencia Forestal suspenderá el trámite correspondiente hasta que la autoridad competente resuelva el caso.

Los profesionales y técnicos o empresas consultoras que elaboren los planes de trabajo de desmontes, deberán estar registrados en la Superintendencia Forestal.

Se estipulan "prohibiciones" respecto a los desmontes y quemas en determinadas áreas y se prevén infracciones o delitos, entre las mismas incumplir las normas técnicas, administrativas y legales sobre desmontes y quemas controladas; además de las recomendaciones establecidas en los planes de ordenamiento predial y planes de trabajo de desmontes, en la ejecución de desmontes; provocar incendios intencionados en servidumbre ecológicas, bosques, pastizales, tierras de protección, categorías de manejo de áreas protegidas u otras áreas de protección y, se consigna un régimen de sanciones (las estipuladas en los artículos 42 y 43 del Decreto Supremo n° 24.453 que reglamenta la ley forestal).

En Chile, se regula la destrucción de la vegetación mediante el uso del fuego, el que solo podrá efectuarse en forma de "quema controlada", conforme a normas técnicas con el fin de mantener el fuego bajo control. Es así que en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal se podrá usar el fuego en forma de quema controlada siempre y cuando el propietario o poseedor del predio que desee efectuar una quema controlada, debe manifestar con la debida anticipación su voluntad de practicarla ante la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Para estos efectos debe retirar de la Oficina de la CONAF más cercana a su predio un formulario de "aviso de quema" destinado a estos efectos. Una vez que el interesado ha consignado todos los datos requeridos en el formulario, debe entregarlo a esta oficina, la cual le indicará en un documento denominado "Comprobante de aviso de quema", la fecha y hora en que se puede usar el fuego en forma de quema controlada.

El propietario o poseedor podrá completar el formulario de Aviso en la misma oficina o bien enviar a otra persona a retirarlo, completarlo y firmarlo en su domicilio y luego devolverlo al mismo lugar. Solo se podrá usar el fuego durante todo el año, en forma de quema controlada y

únicamente en las fechas que se le indique en el "Comprobante de quema". Este trámite está dirigido a propietarios o poseedores de predios rústicos, que deseen efectuar una quema controlada.

En relación a los "requisitos" se deben cumplir con: la presentación de Cédula de Identidad; ser mayor de 18 años; rol de predio y llenar formularios de aviso de quema. No se debe acompañar documento alguno.

La solicitud debe ser efectuada en la oficina de la CONAF mas cercana al predio del solicitante y demora un máximo de 30 días. El comprobante de quema, en su fecha y horario puede ser suspendido por una resolución emitida por la CONAF, dada ciertas circunstancias que establecen situaciones de emergencia, como consecuencia del aumento de probabilidad de ocurrencia de Incendios Forestales a niveles extremos.

En relación a la prohibición del uso del fuego para la quema de rastrojos, de ramas y materiales leñosos, de especies vegetales consideradas perjudiciales y, en general, para cualquier quema de vegetación viva o muerta que se encuentre en dichos terrenos, se establece el período comprendido entre el 1° de mayo y el 31 de agosto de cada año, en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal de todas las provincias de la Región metropolitana de Santiago y en la Provincia del Cachapoal de la VI Región, el uso del fuego. A su vez, durante el período comprendido entre el 23 de diciembre de 2000 y el 28 de febrero de 2001 existirá prohibición absoluta del uso del fuego en forma de quema controlada en la X Región.

El otorgamiento de avisos de quemas se realizará sobre la base del plano de zonificación para la X Región, con el siguiente criterio de aplicación: a) Zona de baja restricción, suelos agrícola-ganaderos (aviso de quema controlada); b) Zona de media restricción, suelos agrícola-ganaderos (aviso de quema controlada); suelos forestales de 0 a 15 ha. (aviso de quema), sobre 15 ha. (presentación de plan de quemas prescritas); c) Zona de máxima restricción, suelos forestales de 0 a 1 ha. (aviso de quema controlada), sobre 1 ha. (presentación de plan de quemas prescritas).

Los planes de quema deberán presentarse en los ejemplares y formularios proporcionados por la CONAF. Este organismo y los Carabineros de Chile podrán fiscalizar antes y durante la ejecución de la quema controlada la existencia de los equipos y el personal descritos en el aviso y los planes de quemas prescritas.

En las comunas de Puerto Octay y Puyehue se prohíbe el uso del fuego en las áreas indicadas en la Resolución n° 296 de la Gobernación Provincial Osorno, de fecha 29 de diciembre de 1994, por considerarse Zona de Prohibición. Se consi-

dera Zona de Prohibición Absoluta las Áreas Silvestres Protegidas del Estado, además de una franja de 2 Km en el área perimetral.

El fuego no se podrá utilizar en las áreas que a continuación se señalan: a) Una franja de 5 Km en aquellas ciudades con una población entre 200.000 y 25.000 habitantes; b) Una franja de 1 Km de las riberas de lagos y lagunas naturales o artificiales; En la parte alta de las cuencas abastecedoras de agua potable; d) Bajo líneas eléctricas y telefónicas en una faja de 50 m; e) Ruta 5, provincias de Valdivia, Osorno y Llanquihue, en una franja de 200 m a ambos costados del eje central; f) Ruta 5, provincia de Chiloé, en una franja de 100 m a ambos costados del eje central.

La CONAF, de acuerdo a las disposiciones del D.S. n° 276/80, podrá modificar el "calendario de quemas" de acuerdo a las condiciones climáticas, índice de peligro y/o la ocurrencia de incendios forestales. No se le otorgará aviso de quema controlada a aquellos predios que se encuentren en proceso judicial por incendio forestal o infracción al D.S. n° 276/80, artículo 9.

En Brasil, hay decretos de restricción del uso del fuego; también el decreto de creación del Programa de prevención y control de quemas e incendios forestales en la Amazonia legal, la negociación de financiamiento del proyecto de Prevención y control de quemadas e incendios forestales en el arco de deforestación (PROARCO).

4.2. Estado de Campeche (México) y Georgia (Estados Unidos de América del Norte)

En México, a nivel federal, obra la norma oficial mexicana de emergencia NOM-003-SEMARNAP/SAGAR, que regula el uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios, y que establece las especificaciones, criterios y procedimientos para promover y ordenar la participación social y del gobierno en la detección y el combate a los incendios forestales.

A su vez, en el Estado de Campeche, se regula el decreto n° 188.P.O. n° 563 del 22/12/93, que tiene por objeto establecer y regular el uso del fuego en las actividades relacionadas con la explotación de la tierra para fines agrícolas, ganaderos o de otra índole y evitar la destrucción de las masas arboladas, del renuevo de las especies forestales, de los cultivos y plantíos, de la fauna silvestre, de la apicultura y la ganadería, recursos cuya preservación, conservación y fomento son de interés público.

Estas disposiciones se aplicarán no sólo para las quemas de limpieza de acahuales o el cultivo de maíz bajo el sistema de roza, tumba y quema, sino también a plantíos de caña de azúcar, maíz de temporal o de riego y a cualquier otro cultivo en el que se recurra al uso del fuego, así

como en actividades de carácter pecuario en las que se utilice fuego como método para eliminar malezas indeseables en predios destinados a la ganadería.

Sólo se permitirán las quemas de limpia o de pastos en los terrenos cuya propiedad o tenencia se compruebe debidamente ante las autoridades correspondientes.

A los efectos dicho decreto, el territorio del estado se divide en cinco regiones en las que se encuentran localizadas diez zonas críticas de incendios forestales distribuidas. No son objeto de regulación de esta ley los asuntos relacionados con el cambio de uso del suelo en terrenos forestales, los cuales están previstos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Se establecen "requisitos y obligaciones", a fin de prevenir y evitar incendios forestales. En tal sentido, los propietarios, poseedores, ejidatarios, aparceros, administradores y encargados de terrenos, interesados en efectuar quemas controladas como sistema para eliminar pastos secos, rastrojos, o desechos de acahuales, deberán adoptar previamente las medidas siguientes: a). La limpieza se hará mediante barrido de las rondas, líneas corta-fuego, guardarrayas o callejones, cuyo ancho mínimo será de 10 metros. No obstante, cuando la superficie en la que se va a efectuar la quema sea inferior a cinco hectáreas y no colinde con áreas de monte alto, se podrá autorizar cinco metros como ancho mínimo; b). Las rondas, líneas corta-fuego, guardarrayas o callejones deberán efectuarse durante los meses de enero y febrero de cada año. Además de solicitar el permiso ante la autoridad municipal correspondiente y de poner conocimiento de la actividad que pretende realizarse a los colindantes del terreno de que se trate, se deberá dar aviso a las autoridades ejidales, Jefes de Distrito de Desarrollo Rural de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado.

En cuanto a las "normas técnicas", las quemas controladas siempre deberán: 1). iniciarse de arriba hacia abajo en los terrenos con pendiente de menos de 15 grados y en los planos en sentido contrario al de la dirección dominante de los vientos; 2). abstenerse de iniciar la quema si la velocidad del viento es mayor de 15 kilómetros por hora; 3). efectuarse en el periodo que comprende del 1° de marzo al 31 de mayo de cada año y dentro del horario comprendido de las 4:00 A.M. a las 11:00 A.M., en base al calendario que publique para tal fin la Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado, en el Periódico Oficial del mismo, y en dos periódicos de mayor circulación en la entidad, así como en otros medios de comunicación, que se consi-

deren convenientes; dicho calendario mencionará el período adecuado en las diversas regiones del Estado; 4). reunirse en el centro del terreno, los materiales combustibles que puedan representar riesgos de fuga de fuego, antes de iniciar la quema controlada; 5). cuidarse que en la realización de las quemas el número de personas que participen sea proporcional a la superficie del terreno en razón de dos personas por cada cuatro hectáreas de terreno, que será la encargada de vigilar el fuego, para lo cual contará con los implementos necesarios para evitar el riesgo de propagación del fuego, como medida preventiva; 6). no se podrán efectuar quemas simultáneas en predios vecinos para evitar cambios bruscos en la temperatura que puedan ocasionar daños. Independientemente de las medidas señaladas, las autoridades estatales y municipales podrán dictar las que a su juicio fueren necesarias para evitar daños forestales al efectuar las quemas.

Las instituciones gubernamentales que precisen de la realización de actividades de limpia de áreas de su interés, por el procedimiento de quemas como son los derechos de vía de carreteras o ferrocarril, oleoductos o gasoductos, conducción de energía eléctrica y otros de similar destino, quedan sujetas al cumplimiento de lo establecido en la norma.

En relación al "procedimiento", toda persona que requiera efectuar quemas en terrenos agrícolas o ganaderos, deberá dar "aviso" a la autoridad municipal de su jurisdicción para obtener el "permiso" respectivo; asimismo, deberá comunicar dicha situación a los dueños o encargados de los terrenos colindantes, cuando menos con tres días de anticipación, con el objeto de que adopten las precauciones necesarias y coadyuven en los trabajos de control del fuego con el fin de evitar cualquier riesgo de propagación.

Es facultad exclusiva de los Ayuntamientos expedir los "permisos" para efectuar quemas tendientes a limpiar las parcelas agrícolas o para dar mantenimiento a praderas y predios rústicos. Los permisos podrán expedirse a quienes demuestren haber cumplido con las medidas de seguridad necesarias para evitar daños a los recursos forestales; la Autoridad Municipal, bajo su estricta responsabilidad deberá efectuar las inspecciones previas tendientes a verificar la veracidad de la información proporcionada por los solicitantes y, en su caso, hacer las observaciones correctivas y preventivas que procedan. Si dentro del término de ocho días, la Autoridad Municipal no realiza la inspección señalada anteriormente, el interesado podrá acudir ante la misma para que se le expida el permiso correspondiente sin más trámite.

El aviso aludido, para obtener el permiso correspondiente, deberá contener los siguientes

"datos": nombre y domicilio del interesado; nombre y ubicación exacta del lugar en que se llevará a cabo la quema; su superficie; descripción de la vegetación objeto de la quema; tipo de propiedad; colindancias y todos los datos complementarios que sirvan para identificación del terreno y del interesado.

En relaciones a las "obligaciones" del interesado de quemas controladas, debe dar aviso a la Corporación de Defensa contra Incendios más cercana al lugar, con el objeto de que se tome nota de la operación. Los dueños de plantíos, pastizales o potreros, cultivos agrícolas de cualquier género, huertos y apiarios, están obligados a velar por su conservación y deberán protegerlos contra todo peligro de incendio, circundándolos con líneas corta-fuegos o guardarrayas. El incumplimiento de esta obligación hará que se pierda el derecho de reclamar daños y perjuicios.

La persona que lleve a cabo una quema, está obligada: a permanecer en vigilancia constante todo el tiempo que ésta dure, debiendo abandonar el lugar hasta que sea apagado el último brote de fuego; localizar en una zona libre de fuego, todos los productos que posteriormente puedan aprovecharse.

Se establecen algunas "prohibiciones", tales como: realizar quemas en terrenos aledaños a poblaciones urbanas y suburbanas, que pongan en peligro la seguridad de sus habitantes; realizar las quemas en terrenos con pendiente mayor de 15 grados. Todos los habitantes del Estado, están obligados a denunciar y cooperar en el caso de que una quema de limpia o de pasto de origen a incendios de otros cultivos, sementeras o masas forestales. Se dará aviso a la autoridad forestal, a la autoridad municipal y a los dueños o encargados de fincas inmediatas o mediatas, para evitar que el incendio se propague.

En caso de suscitarse un incendio fuera del área autorizada en el permiso respectivo, todos los vecinos situados a una distancia de diez kilómetros a la redonda del lugar en que se registre el siniestro, están obligados a prestar auxilio gratuitamente empleando los medios que estén a su alcance; sin que para ello se dejen de investigar las causas y se deslinden las responsabilidades correspondientes, imponiendo las sanciones a los responsables, de igual forma, los habitantes del estado o quienes en forma transitoria residan o se encuentren en él, están obligados a comunicar a las autoridades correspondientes, de los incendios que detecten en cualquier parte de la entidad, así como de aquellos que, estando fuera de ésta, por su proximidad se presuma su propagación a territorio campechano, aún cuando se desconozca su autor.

Será obligación de las autoridades del Estado y de los municipios, efectuar todos los trabajos

que estén a su alcance, a fin de que sea desterrada la costumbre de usar el sistema de «roza, tumba y quema», tecnificando la agricultura, para lo cual la Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado deberá formar un cuerpo de técnicos agrícolas. Las autoridades prestarán toda la ayuda técnica necesaria y las facilidades a su alcance, para que los campesinos y demás personas interesadas, lleven a cabo sus quemas oportunas y eficazmente. Serán auxiliares de las autoridades estatales y municipales, las agrupaciones de los sectores social y privado, organismos gubernamentales, autoridades ejidales, personas físicas o morales, instituciones crediticias y todas aquellas que por la naturaleza de sus actividades, independientemente de su denominación, están relacionadas con la materia de esta ley, quienes deberán coadyuvar en la vigilancia y aplicación de los preceptos establecidos para regular el uso del fuego con fines agropecuarios, reportando a las autoridades correspondientes los casos de que tengan conocimiento en el desempeño de sus funciones.

La Secretaría de Desarrollo Rural llevará un "registro" completo, numerado y circunstanciado de los permisos para quemas que expidan las autoridades municipales, con fines estadísticos y para deslindar responsabilidades en caso de siniestros. Para tal efecto, implementará los mecanismos de inspección necesarios para verificar el estricto cumplimiento de las medidas de protección forestal.

Las personas que prestan sus servicios en los programas especiales de inspección, vigilancia y protección ecológica y forestal, deberán informar a la superioridad, con toda oportunidad y bajo su responsabilidad acerca de las labores y medidas previas al proceso de quemas y ordenar y vigilar que sean subsanadas las deficiencias en las labores especificadas en los permisos que expidan las autoridades municipales.

La Secretaría de Desarrollo Rural, por los medios de comunicación que tenga a su alcance, tendrá a su cargo la realización de campañas de difusión tendientes a que el uso del fuego en actividades agropecuarias, se realice tomando las precauciones necesarias y con estricto apego a las normas establecidas en este ordenamiento.

Las autoridades del estado y los municipios, están obligadas a prestar todo el auxilio oportuno y necesario para evitar que con motivo de la quema, se produzcan o se propaguen incendios, poniendo en juego todos los medios a su alcance, de acuerdo o en coordinación con las autoridades federales, para combatirlos eficazmente. De las Infracciones. La autoridad municipal respectiva será la competente para aplicar las sanciones que señala la presente ley; sin perjuicio de las que correspondan a los infractores en materia penal, tanto local como federal.

En el Estado de Georgia (Estados Unidos de América del Norte), se dictó la ley del permiso de 1988 (que modifica la ley de protección contra incendios de bosques de dicho estado) para realizar quemas de bosques, campos, ciénagas u otros tipos de vegetación combustible.

Efectivamente, conforme a esta ley, cualquier persona, firma, corporación o asociación que legalmente tenga derecho a quemar cualquier bosque, campo, ciénaga o cualquier otra vegetación inflamable, sea en áreas cultivadas o no, deberá obtener un "permiso" del guardabosque del condado donde se efectuará la quema, o de otro funcionario de la unidad forestal responsable por ese condado, que haya sido autorizado por el guardabosque Jefe de dicha unidad para emitir esos permisos, antes de proceder a la quema.

En relación a los "requisitos" a cumplimentar para efectuar la solicitud del permiso se señalan: especificar al guardabosque del condado, o al funcionario autorizado de la unidad forestal responsable por el condado, el local y la hora sugerida para la quema propuesta. Esta información debe ser suministrada y el permiso obtenido mediante un llamado telefónico al guardabosque del condado o a otro funcionario de la unidad forestal responsable por el condado.

El "permiso" será concedido cuando el solicitante reciba el número de su permiso, lo cual le permitirá efectuar una quema controlada en el local especificado por el solicitante y a la hora aprobada por el guardabosque del condado o funcionario autorizado de la unidad forestal responsable por el condado.

No será necesario obtener el permiso indicado para la quema de pasturas mejoradas o residuos de cosechas en tierra cultivada, si la persona o la firma, corporación o asociación que tiene la intención de quemar tales residuos informa el local y tiempo aproximado de la quema antes de proceder a la misma al guardabosque del condado donde se procederá a dicha quema, o a un funcionario de la unidad forestal responsable por ese condado que esté autorizado a emitir permisos para tales fines.

La información o permiso requerido abarcará también cualquier otra información o permiso u otro requisito para la quema previsto en la ley, o por ordenanza, resolución o reglamento de cualquier condado o municipalidad de este estado.

4.3. Andalucía (España)

Por el decreto de la Consejería del Medio Ambiente nº 247/01, se aprueba el reglamento de prevención y lucha contra incendios forestales de Andalucía (España). El mismo regula el régimen de usos y actividades en: terrenos forestales y zona de influencia forestal y, el empleo del fuego en actividades agrarias.

Respecto al primero se establecen "prohibiciones" durante todas las épocas del año; en cuanto al segundo se distingue entre: quemas de matorral y pastos; quemas por actividades agrícolas en zona de influencia forestal; estableciéndose normas técnicas según el caso.

Se estipula como procedimiento común la "autorización" administrativa, debidamente motivada, para la quema de matorral, pastos y residuos procedentes de tratamientos selvícolas, fitosanitarios y otros trabajos forestales, así como la quema de rastrojos o residuos en laborees agrícolas que se realicen en zona de influencia forestal. En dicha autorización se fijarán las condiciones de ejecución de la quema, y que será indicada previa solicitud del interesado.

En dicha solicitud de autorización se indicará el término municipal, la situación y accesos a la finca, superficie de quema o localización y cantidad de los residuos a quemar, incluyendo su delimitación sobre plano o escala: 1: 10.000; el día y hora de ejecución; los datos identificatorios del titular del terreno y los del responsable de la operación de quema y, finalmente los medios y medidas de control del fuego para evitar su extensión mas allá del área autorizada de quema.

La solicitud deberá tender entrada en el Registro de la Delegación Provincial correspondiente de la Consejería del Medio Ambiente, con una antelación mínima al día señalado para al misma, entendiéndose autorizada en defecto de dicha notificación.

En toda quema deberá procederse a la exhibición de la autorización correspondiente, a requerimiento de los agentes encargados de la vigilancia del cumplimiento de las normas medioambientales. Cuando lo aconsejen las circunstancias sobrevenidas o no se acredite el cumplimiento de las condiciones exigidas, los agentes de la autoridad o funcionarios que tengan reconocida dicha condición y estuvieran presentes en el acto de la quema podrán ordenar su interrupción

5. Imputabilidad por los daños causados

La actividad agraria, puede desarrollarse en forma de empresa, cuando se dan en la misma ciertos requisitos que la califican como tal, y que surgen de la definición del art. 2082 del Código

civil italiano, el cual establece que "es empresario quien ejercita profesionalmente una actividad económica organizada con la finalidad de la producción o el intercambio de bienes o de servicios".

Se señalan, en consecuencia, como elementos de la empresa, la profesionalidad, organicidad, economicidad e imputabilidad. O sea que la empresa, en cuanto actividad económica organizada profesionalmente es "imputable" al empresario, es decir, que es quien responde por los riesgos y resultados de su actividad, más concretamente por los daños que se pudieran derivan de la aplicación del fuego prescripto cuando está a su cargo.

El empresario agrario en su afán de obtener mayor rentabilidad de su actividad, sobreexplota los recursos naturales, particularmente los que se conocen como productivos, tales como el suelo y el agua, o para abrirse camino en el ejercicio de la actividad agraria, tala los bosques provocando en el primer caso la degradación en forma directa, e indirecta de los segundos.

En el caso que nos ocupa, cabe determinar la responsabilidad del empresario agrario respecto del ejercicio de su actividad y el daño que como consecuencia de ella produce en los recursos naturales, el medio ambiente, los bienes, salud y vida de las personas.

El hombre, con su trabajo se sirve de los elementos de la naturaleza (suelo, agua, aire, bosques) y entra en relación con el ambiente. Y si esta relación no está regulada por un sistema de reglas fundadas científicamente, puede producir una acción negativa sobre el ambiente y llevar a una irreversible degradación de los recursos naturales renovables, ya que algunos de ellos son agotables²².

De tal modo que la tutela del ambiente será siempre el criterio determinante de la utilización racional de la naturaleza ya que, el concepto de "racionalidad" en el uso de los recursos naturales renovables se desenvuelve en relación a la evolución de la ciencia y de la técnica y, los objetivos requeridos por la necesaria calidad del ambiente pueden ser determinados de antemano o sea planificados.

La actividad agraria, en cuanto recurso inducido, es una categoría intermedia entre los recursos naturales renovables (bienes físicos) y el ambiente creado o cultivado. De ahí que la actividad de empresa agraria es la más vecina a la

²² Ibid.

²¹ VICTORIA, María Adriana. Derecho agrario e interdependencia de los recursos naturales renovables, in "Nuevas propuestas", Revista de la Universidad Católica de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina, n° 3:73, Abril de 1988.

naturaleza, ya que esta actividad está ligada al disfrute de los elementos naturales en su estado primitivo, y su función productiva está basada sobre todo en las relaciones con el recurso natural tierra y el uso o acción sobre otros recursos (aguas, bosques, aire)²³.

Hay que destacar por otro lado, que el factor tierra no tiene un valor absoluto para la doctrina de la "agrariidad", ya que según ésta puede darse la "agricultura sin tierra":

En la "agricultura con tierra", la actividad de la empresa agraria debe responder a una utilización racional, lo cual presupone hacerlo conforme a las "reglas de la buena técnica agraria", preocupándose por un aumento de la fertilidad, uso adecuado del suelo, lucha contra la erosión, tala racional de los bosques previéndose la reforestación, etc., pesando sobre la empresa agraria la obligación de evitar daños a la naturaleza²⁴.

No siempre el propósito conforme al cual se aplica el fuego prescripto, el objetivo desarrollado produce los efectos deseables. El fuego prescripto puede producir daños en 1). las personas (vida, salud) y en sus bienes (alambrados, árboles, animales, tinglados, maquinarias, etc.). 2). En el ambiente y los recursos naturales renovables (flora, fauna, suelo; clima).

Más específicamente se dice que puede producir: "destrucción de estructuras y cobertura de suelo; disminución de la permeabilidad del suelo debido a las cenizas; excesiva pérdida de nutrientes contenidos en los distintos tipos de combustibles y en la capa superior del suelo, con la consiguiente efecto a mediano plazo sobre el sitio forestal; daño a los fustes y al follaje de los árboles; disminución del crecimiento; daños a instalaciones e infraestructura; pérdida de hábitat de fauna"²⁵ en cuanto el bosque funciona como un ecosistema; daños que pueden inducir susceptibilidad a enfermedades y plagas; puede favorecer la germinación de especies indeseables²⁶.

6. Régimen de daños y responsabilidad jurídica

Con frecuencia el efecto indeseable del fuego prescripto se traduce en algunos de los daños referidos precedentemente.

Guillermo F. Peyrano²⁷ sostiene que daño ecológico es "toda lesión o menoscabo al derecho o interés que tienen los seres humanos, considerados individual o colectivamente, a que no se alteren de modo perjudicial las condiciones naturales de vida"

Sánchez-Friera González²⁸ sostiene que existe daño ecológico cuando lo que se produce es la degradación de los elementos naturales.

El concepto de daño ambiental depende necesariamente del concepto de ambiente que se tenga. Sostiene Cabanillas Sánchez²⁹ que en la Unión Europea la acepción "ambiente" es bastante amplia, e incluye recursos naturales abióticos y bióticos, además de los bienes que componen el patrimonio cultural y los aspectos característicos del paisaje.

El daño ambiental es de enorme interés y complejidad, ya que afecta a comunidades de individuos y puede presentarse en regiones que rebasan las fronteras de un solo país. Abarca problemas graves que tocan y afectan la calidad de vida, como son por ejemplo la lluvia ácida, la contaminación hídrica, el problema de la capa de ozono, la polución atmosférica, etc. También son características del daño ambiental que suele exteriorizarse lentamente, puede llegar a ser muy grande y de reparación difícil, antieconómica e imposible.

Bustamante Alsina³⁰ recuerda que el concepto de daño ambiental no debe abarcar únicamente el daño que recae en el patrimonio ambiental que es común a una comunidad, sino que debe referirse también al daño que el medio ambien-

²³ TIMOSENKO, Attività delle imprese agricole e tutela dell'ambiente, in Problemi giuridici dell'Impresa agraria in Italia en nell' U.R.S.S., 3ª tavola rotonda Italo - Sovietica, Firenze, Venezia, Cortina D'Ampezzo, 11 - 20 maggio 1977, Milano, Giuffrè Editore, pp. 280, citado por VICTORIA, Maria Adriana. Derecho agrario e interdependencia de los recursos naturales renovables, in "Nuevas propuestas", revista de la Universidad Católica de Santiago del Estero, n° 3, Abril de 1988, Op. Cit. ²⁴ Ibid.

²⁵ KUNST, Carlos. RODRIGUEZ, Norberto. "Plantaciones forestales comerciales. ¿Porqué usar el fuego prescripto?", in KUNST, Carlos. "El fuego y sus dos enfoques", in Fuego prescripto en plantaciones de pino. Documento preparado para uso en los Seminarios Quemadas prescriptas en plantaciones forestales... Op. Cit. p. 16.

²⁶ KUNST, Carlos. RODRIGUEZ, Norberto. "Plantaciones forestales comerciales. ¿Porqué usar el fuego prescripto?", in KUNST, Carlos. "El fuego y sus dos enfoques", in Fuego prescripto en plantaciones... Op. Cit. p. 19.

²⁷ PEYRANO, Guillermo F. «Daño ecológico, protección del medio ambiente e intereses difusos», in Jurisprudencia Argentina, 1.983, III, Sección Doctrina, Buenos Aires, pp. 387-389.

²⁸ SÁNCHEZ-FRIERA GONZÁLEZ, María del Carmen. La responsabilidad civil del empresario por deterioro del medio ambiente, Editorial J. M. Bosch, Barcelona, 1994, p. 18.

²⁹ CABANILLAS SÁNCHEZ, Antonio. La reparación de los daños al medio ambiente, Pamplona, España, Editorial Arazandi, 1996, p. 127 y sig.

³⁰ BUSTAMANTE ALSINA, Jorge. Derecho ambiental. Fundamentación normativa, Buenos Aires, Editorial Abeledo Perrot, 1.995, p. 45.

te ocasiona de rebote a los intereses legítimos de una persona determinada, configurando un daño particular que ataca un derecho subjetivo y legítima al damnificado para accionar en reclamo de una reparación o resarcimiento del perjuicio patrimonial o extrapatrimonial que le ha causado.

En la mayoría de los casos concretos coexisten tanto los daños a las personas por alteraciones al medio ambiente como los daños propiamente dichos al medio ambiente. Y si bien la atención doctrinaria y jurisprudencial se ha dirigido sobre todo a la primera especie del daño ambiental (respecto de la cual es posible aplicar las reglas jurídicas existentes respecto de responsabilidad civil o penal) respecto de la segunda es donde hay mayor campo para la reflexión y el trabajo creativo de la doctrina y jurisprudencia.

El español Carlos de Miguel Perales sostiene que en la actualidad, el daño ambiental, a los efectos de la responsabilidad civil, es aquel sufrido por una persona determinada, en su propia persona y como consecuencia de la contaminación de algún elemento ambiental (por ejemplo, intoxicación por haber bebido agua de una fuente contaminada por una industria), o en sus bienes, cuando éstos forman parte del medio ambiente (un bosque, por ejemplo) o cuando resultan dañados como consecuencia de la agresión al ambiente. Pero avizora que en un futuro próximo se llegará a ampliar el campo, incluyéndose en el daño ambiental a los ocasionados, además de a los particulares en su persona o en sus bienes, a cosas que puedan conceptuarse como "res nullius", básicamente a través de la legitimación activa de las asociaciones.

En este sentido, el Libro Blanco sobre responsabilidad ambiental de la Comisión Europea, del 9 de febrero de 2000³¹, ya señala como idea fuerza la necesidad de instrumentar sistemas de responsabilidad civil que hagan responsables civilmente a los contaminadores, y no a la sociedad toda, respecto del daño ambiental cuya fuente es identificable.

Se dice que dicho daño es «social» pues lesiona los intereses denominados difusos que son supraindividuales; pertenecen a la comunidad pues no tienen por finalidad la tutela de intereses de un sujeto particular. El daño provocado a

los intereses difusos resulta de la incumbencia de las autoridades gubernamentales, las que, en ejercicio del poder de policía, deben velar por la seguridad, salubridad y bienestar de la comunidad³².

De los daños producidos por el incumplimiento de las normas referidas al fuego prescripto puede derivarse 3 tipos de responsabilidad: administrativa, civil y penal.

6.1. Responsabilidad administrativa

En relación a la "responsabilidad administrativa" es competente la autoridad de aplicación de la ley que autorice el fuego prescripto, conforme al procedimiento estipulado (sumario administrativo) y las sanciones que se consignent.

En la provincia de Mendoza está vigente la aludida ley que regula el procedimiento a realizarse en caso de detectarse violaciones a dichas normas, entre las que se encuentran tanto el encendido de fuegos sin autorización de la autoridad como la negativa a realizar las tareas que la misma legislación le impone, como es el caso de apertura y mantenimiento de las picadas cortafuegos. Este es un procedimiento sumario en el que está asegurado el ejercicio del derecho de defensa del imputado o sospechado y en el que se busca obtener certeza sobre la responsabilidad que pudiere haber desde el punto de vista administrativo, independientemente de las sanciones que pudieren corresponder.

La sanción consistirá en una multa, en moneda nacional de curso legal, de hasta veinte mil (\$20.000). La autoridad de aplicación graduará la multa teniendo en cuenta la gravedad de la infracción, las consecuencias dañosas que la misma haya causado a la propiedad de terceros o al medio ambiente, los daños y peligros potenciales a la seguridad física de otras personas, los antecedentes de infracciones ya cometidas y toda otra circunstancia relevante. Se aplicará arresto de hasta treinta (30) días a quien incumpliere las obligaciones establecidas en dicha ley sin perjuicio de la responsabilidad penal por la comisión de delitos.

La legislación de la provincia de Córdoba, ya referida, respecto a las sanciones señala que: los

³¹ Libro blanco sobre responsabilidad ambiental. Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas, 9 de febrero 2000. COM (2000) 66 final.

³² VICTORIA, María Adriana y SILVA, Hugo Emil. "La responsabilidad civil del empresario agrario por daños en los recursos naturales renovables". VI Congreso internacional de derecho de daños. Comisión de derecho de daños y contratos de la Asociación de Abogados de Buenos Aires. Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, 27 y 28 de abril de 2000.

infractores a lo establecido en el artículo precedente de la ley, serán sancionados con multa que van de un mínimo de una (1) Unidad de Multa, hasta un máximo de quinientas (500) Unidades de Multa, sin perjuicio de la responsabilidad penal por la comisión del delito: La Autoridad de Aplicación es la encargada de fijar y cobrar las multas. A los efectos de dicha ley la Unidad de Multa será un importe equivalente a un (1) sueldo de peón rural vigente a la fecha de la comisión del hecho.

La ley de la provincia de San Luis, ya citada, dispone que: los infractores, serán sancionados con multas que van de un mínimo de una (1) Unidad de Multa, hasta un máximo de mil (1000) Unidades de Multa, sin perjuicio de la responsabilidad penal y/o civil por la comisión del delito. La Autoridad de aplicación, es la encargada de fijar y cobrar las multas. La unidad de multa será un importe equivalente a un sueldo mensual mínimo vital y móvil vigente a la fecha de la comisión del hecho. La autoridad de aplicación graduará la multa a aplicarse teniendo en cuenta la gravedad de la infracción, las consecuencias dañosas que la misma haya causado a la propiedad de terceros o al medio ambiente, los daños y peligros potenciales a la seguridad física de otras personas, los antecedentes de infracciones ya cometidas y toda otra circunstancia relevante a tales efectos.

En La Pampa, conforme a la legislación referida, las infracciones a la ley son investigadas mediante sumario que se iniciará de oficio y por resolución podrá imponerse las sanciones al infractor, la que consistirá en una multa en moneda de curso legal, equivalente al precio de venta en la ciudad de Santa Rosa de hasta cien mil (100.000) litros de gasoil; si no hubiera precio promedio que rija en tres (3) bocas de expendio en dicha ciudad. Dicha multa podrá ser graduada por la autoridad de aplicación teniendo en cuenta la gravedad de la infracción, las consecuencias dañosas que la misma hayan causado a la propiedad de terceros o al medio ambiente, los daños y peligros potenciales a la seguridad físicas de otras personas, los antecedentes de infracciones ya cometidas y toda otra circunstancia relevante a tales efectos.

Se faculta a la Autoridad de Aplicación a duplicar y triplicar los montos de las sanciones de multa, en caso de reincidencia: A este efecto se considerará reincidente a quien cometa una falta dentro del plazo de tres (3) años contados desde la fecha en que quedara firme una sanción anterior, y en tres (3) años, el período de prescripción de las acciones administrativas. La Autoridad de Aplicación queda facultada para requerir la información técnica y solicitar la realización de las pericias que estime procedentes para determinar la causa y forma de ocurrencia de incendios rurales, y sus consecuencias dañosas.

En Jujuy, de acuerdo a la legislación señalada, los infractores serán sancionados: en caso de "un primero hecho: Multa como mínimo se fija en una suma de dinero equivalente a Mil (1000) litros de nafta super. En caso de reincidencia: Multa como mínimo se fija en una suma de dinero equivalente a dos Mil (2000) litros de nafta super".

"Las infracciones a la presente Ley, serán investigadas mediante un sumario que tramitará la autoridad de aplicación con sujeción al procedimiento que establezca la reglamentación y a los siguientes principios básicos: la investigación de agentes dependientes de la autoridad de aplicación o por denuncias de cualquier ciudadano legalmente hábil. Recibida una denuncia a lo dispuesto en la presente Ley, cualquiera de las autoridades que intervengan, procederán a su comprobación y actuarán conforme a las disposiciones de la misma".

"La graduación de la multa se determinará en base a la gravedad de la infracción, las circunstancias concretas del hecho y los antecedentes y condiciones personales del autor. En todos los casos se considerarán asimismo las consecuencias dañosas provocadas por infracción a la propiedad de terceros, o al ambiente, los daños y peligros potenciales a la seguridad física de otras personas y las condiciones económicas del infractor y su familia".

El proyecto de ley de la provincia de Santiago del Estero, coincide con lo dispuesto en la ley de Jujuy.

En el Estado de Campeche (México), se estipulan "sanciones" para quienes no cumplan con los requisitos establecidos en la ley. Así, se harán acreedores a las sanciones administrativas correspondientes que esta ley establece, independientemente de la responsabilidad civil y penal que pueda resultar.

La norma estipula diversas "sanciones" en relación a las infracciones dispuestas en la misma: multa de 10 a 500 veces el salario mínimo general vigente en la zona, según su gravedad, o con el arresto correspondiente si el infractor no pagare la multa dentro de tres días; arresto que no excederá de 36 horas; multa de 10 a 800 veces el salario mínimo general vigente en la zona, según sea su gravedad, o con el arresto correspondiente si el infractor no pagare la multa dentro de tres días; arresto que no excederá de 36 horas; multa de 100 a 1000 veces el salario mínimo general vigente en la zona, según su gravedad, o con el arresto correspondiente si el infractor no pagare la multa dentro de tres días; arresto que no excederá de 36 horas.

Cuando en la realización de las quemas y por falta de aplicación adecuada de las medidas de prevención, se causen "daños" a la vegetación forestal, el aprovechamiento de las maderas

mueras únicamente podrá hacerse con el permiso y bajo la supervisión de la autoridad forestal federal en la entidad y las utilidades que se obtengan por dicho aprovechamiento, se aplicarán íntegramente a tareas de reforestación del predio afectado, quedando el responsable del mal uso del fuego obligado a cooperar en la ejecución de las tareas mencionadas. Cuando al aplicar las sanciones aludidas precedentemente, la autoridad municipal tuviere razones fundadas para presumir la comisión de un "delito", deberá consignar el caso al Ministerio Público que corresponda, para los efectos consiguientes.

En el Estado de Georgia (Estados Unidos de América del Norte), en relación a las "infracciones", se entiende que cualquier persona que viole las disposiciones señaladas será culpable de un delito menor.

En Andalucía (España), respecto a las "sanciones", se distinguen en: infracciones leves (de 10.000 a 500.000 pesetas); infracciones graves (de 500.001 a 10.000.000 de pesetas); infracciones muy graves (de 10.000.001 a 75.000.000 de pesetas).

6.2. Responsabilidad civil

En cuanto a la "responsabilidad civil", plantea un régimen patrimonial, ya que los tribunales sólo pueden conceder, impedir, o reparar un perjuicio económico para el actor.

La responsabilidad civil tiene importancia en materia agroambiental atento que ofrece vías o causas para lograr la reparación por daños, sea que las cosas o bienes dañados puedan volver al estado anterior al daño, o bien a través de una indemnización por daños y perjuicios³³.

La búsqueda de un régimen adecuado para institucionalizar la reparación civil por daño ambiental, no se limita a los casos en que la relación litigiosa se presenta entre particulares, ya que el propio Estado, en su carácter de titular de bienes de dominio público y de dominio privado, puede resultar damnificado en sus derechos e intereses por obra de actos de naturaleza ambiental.

La responsabilidad en el marco del ordenamiento civil constituye un instrumento idóneo para reparar pecuniariamente los daños y perjuicios por violación al ordenamiento jurídico ambiental. Su vinculación con el ambiente deviene desde el momento que las personas cometen actos ilícitos en materia de normativa

ambiental. En tal caso, se debe responder civilmente de lo que se ha hecho, reparando el daño causado mediante la reposición de las cosas al estado anterior o eventualmente y ante la imposibilidad material, por una indemnización pecuniaria satisfactoria.

En el campo de lo ambiental, determinar la responsabilidad civil supone graves inconvenientes ya que no resulta sencillo establecer, frente al caso concreto, al o a los sujetos responsables. En particular, resulta difícil señalar el nexo de causalidad entre la conducta perturbadora o dañosa y el daño efectivamente producido. Es por ello que son menos los casos en que se puede determinar el sujeto contaminador sobre quien recae la obligación de reparar.

En la mayoría de los casos no resulta posible determinar al sujeto y su consecuente responsabilidad y, no son menos los casos en que resulta equívoco el nexo entre el responsable y el perjudicado. Por todo esto, se impone la denominada responsabilidad por riesgo o responsabilidad objetiva³⁴.

A fin de reparar el perjuicio o daño ocasionado al ambiente, existen dos tipos de responsabilidad; en primer lugar la que se conoce como "responsabilidad por culpa", que nace del principio "ninguna responsabilidad sin culpa" y resulta del incumplimiento de las reglas de diligencia. Cuando se invoca este tipo de responsabilidad, es requisito necesario que se demuestre que, el sujeto o sujetos responsables, han cometido una negligencia u otra infracción causante del daño.

En temas de medio ambiente hay una fuerte interacción entre la responsabilidad por culpa y la regulación legal. El incumplimiento de normas sobre el medio ambiente puede constituir una prueba de culpabilidad y, a la inversa, el cumplimiento de la normativa legal o de lo establecido en una autorización emanada de autoridad competente, puede constituir prueba de que quien actuó, lo hizo en forma razonable. También es cierto que, a medida que se promulgan nuevas disposiciones de protección ambiental, van surgiendo nuevas obligaciones que pueden determinar responsabilidad³⁵.

En segundo lugar, la "responsabilidad sin culpa o responsabilidad objetiva", se caracteriza por eximir al sujeto activo de la demostración de la culpa en el sujeto pasivo. En efecto, el sujeto activo sólo debe demostrar que el daño es consecuencia de un acto u omisión del demandado,

³³ *Ibid.*

³⁴ JAQUENOD DE DE ZOGON, Silvia. El derecho ambiental y sus principios rectores. Madrid, Ed. Dykinson, 1997, pp. 7-9.

³⁵ ROSEMBUJ, Flavia. La gestión de la empresa y el medio ambiente. Publicación de la Escuela de Administración de Empresas de Barcelona, Promociones y Publicaciones Universitarias, Barcelona, 1.994. p. 109.

es decir, sin exigencia alguna de probar la negligencia. Este tipo de responsabilidad existe por una simple causalidad.

En este caso, el mismo tipo de responsabilidad sirve para que el empresario agrario adopte medidas preventivas inherentes a su actividad, en la conciencia de que el mero hecho de ejercitar su actividad propia, la cual implica "riesgo de daños al medio ambiente", puede determinar responsabilidades a su cargo. El fuego prescripto debe estar conforme a un plan previsto de antemano; el propio fuego de por sí es riesgoso, por ende la actividad que lo aplica.

Las reglas de la responsabilidad objetiva comportan un juicio de oportunidad con un objeto social, es decir, comporta la imposición de un pago por hacer lo que está permitido, mientras que la responsabilidad por culpa, sanciona al sujeto por hacer lo que la normativa prohíbe³⁶.

La ley nacional argentina n° 17.711 incorpora la denominada responsabilidad por riesgo creado en los daños causados por el riesgo o vicio de las cosas (art. 1113 del código civil argentino) y el art. 907 de dicho cuerpo legal consagra también la responsabilidad objetiva de las personas que carecen de discernimiento, fundándose la responsabilidad del principal en una obligación de garantía de carácter objetivo, por ser ella inexcusable y, del mismo modo se dice que se funda en la teoría del riesgo creado, la responsabilidad que causan los animales.

El concepto y alcance de la responsabilidad ambiental ha sido dado por el Libro blanco de la Comunidad Europea³⁷, señalándose que la misma tiene por objeto obligar al causante de daños al medio ambiente a pagar la reparación de tales daños, ya que se considera que la reglamentación ambiental establece normas y procedimientos destinados a preservar el medio ambiente, y frente a la ausencia de un régimen de responsabilidad, el incumplimiento de las normas y procedimientos vigentes sólo puede entrañar una mera sanción de carácter administrativo o penal, pero si se incorpora a la normativa el concepto de responsabilidad, los causantes de la contaminación también correrán el riesgo de tener que asumir los gastos de restauración o compensación por los daños que hayan provocado.

Para la procedencia de la aplicación del régimen de responsabilidad, es necesario que haya

uno o más actores identificables; el daño tiene que ser concreto y cuantificable y, se tiene que poder establecer una relación de causa - efecto entre los daños y los presuntos contaminadores. Por lo tanto no es un instrumento adecuado para los casos de contaminación generalizada, de carácter difuso, en que es imposible vincular los efectos negativos sobre el medio ambiente con las actividades de determinados agentes.

Entre los argumentos que justifican la creación de un régimen comunitario europeo de responsabilidad se pueden citar la mejora de la aplicación de tres principios ambientales básicos ("quien contamina, paga", cautela y acción preventiva) y de la legislación comunitaria vigente en la materia, la necesidad de garantizar la descontaminación y la restauración del medio ambiente, la mayor integración de los aspectos ambientales en las demás políticas y la mejora del funcionamiento del mercado interior.

La responsabilidad ambiental obliga al causante de daños al medio ambiente a pagar la reparación de tales daños. Para que el régimen de responsabilidad sea efectivo tiene que ser posible establecer la identidad de los contaminadores, cuantificar el daño y establecer una relación de causa - efecto, motivo por el cual no constituye un instrumento adecuado para los casos de contaminación de carácter difuso, procedente de fuentes múltiples.

En el Código Civil argentino hay un conjunto de normas que delinear el régimen jurídico de la responsabilidad civil, tales son: el art. 1109: «Todo el que ejecuta un hecho, que por su culpa o negligencia ocasiona un daño a otro, está obligado a la reparación del perjuicio. Esta obligación es regida por las mismas disposiciones relativas a los delitos del derecho civil. Cuando por efecto de la solidaridad derivada del hecho uno de los coautores hubiere indemnizado una parte mayor que la que le corresponde, podrá ejercer la acción de reintegro».

Art. 1112: «Los hechos y las omisiones de los funcionarios públicos en el ejercicio de sus funciones, por no cumplir sino de una manera irregular las obligaciones legales que les están impuestas, son comprendidos en las disposiciones de este título».

Al ser el fuego una cosa riesgosa, es de aplicación lo dispuesto por el art. 1113 del Código Civil argentino el que estipula que: "La obliga-

³⁵ ROSEMBUJ, Flavia. La gestión de la empresa y el medio ambiente. Publicación de la Escuela de Administración de Empresas de Barcelona, Promociones y Publicaciones Universitarias, Barcelona, 1.994. p. 109.

³⁶ Ibid.

³⁷ Libro blanco sobre responsabilidad ambiental. Comisión de las Comunidades Europeas... Op. Cit.

ción del que ha causado un daño se extiende a los daños que causaren los que están bajo su dependencia, o por las cosas de que se sirve, o que tiene a su cuidado. En los supuestos de daños causados con las cosas, el dueño o guardián, para eximirse de responsabilidad, deberá demostrar que de su parte no hubo culpa; pero si el daño hubiere sido causado por el riesgo o vicio de la cosa, sólo se eximirá total o parcialmente de responsabilidad acreditando la culpa de la víctima o de un tercero por quien no debe responder. Si la cosa hubiese sido usada contra la voluntad expresa o presunta del dueño o guardián, no será responsable».

También es de interés lo dispuesto por los artículos 2513, 2514, 2618 del Código Civil argentino. El art. 2513 dispone que: «Es inherente a la propiedad el derecho de poseer la cosa, disponer o servirse de ella, usarla y gozarla conforme a un ejercicio regular». El art. 2514 señala que: «El ejercicio de estas facultades no puede ser restringido, en tanto no fuere abusivo, aunque privare a terceros de ventajas o comodidades». El art. 2618 expresa que: «Las molestias que ocasionen el humo, calor, olores, luminosidad, ruidos, vibraciones o daños similares por el ejercicio de actividades en inmuebles vecinos, no deben exceder la normal tolerancia teniendo en cuenta las condiciones del lugar y aunque mediare autorización administrativa para aquellas. Según las circunstancias del caso, los jueces pueden disponer la indemnización de los daños o la cesación de tales molestias. En la aplicación de esta disposición el juez debe contemplar las exigencias de la producción y el respeto debido al uso regular de la propiedad; asimismo tendrá en cuenta la prioridad en el uso. El juicio tramitará sumariamente».

Siguiendo la orientación del artículo 1113 del Código Civil argentino, se puede determinar que la responsabilidad que nace de un daño agroambiental es "objetiva" sin perjuicio de los supuestos de responsabilidad por dolo o culpa del sujeto demandado.

La carga de recomposición se fundamenta en el principio "contaminador pagador" y en el de solidaridad en la cadena de sujetos responsables, de la cual no está excluido el Estado.

La responsabilidad civil por daños al medio ambiente debe incluirse en la actual "responsabilidad civil extracontractual" del Código civil,

ya sea que provenga de un delito (dolo) o cuasidelito (culpa). En cualquiera de los dos casos corresponde la prescripción bienal.

«En virtud de la gravedad del daño no tendrían que admitirse eximentes de responsabilidad en perjuicio de la víctima»³⁸.

La responsabilidad objetiva por la producción de daños agroambientales debería complementarse con los principios rectores del Derecho Ambiental: contaminador-pagador; componente técnico reglado; interdependencia de los recursos naturales; unidad de ciclos; conservación; protección elevada; uso eficiente o racional; coordinación de los diferentes usos del mismo recurso; primacía de intereses colectivos; justicia redistributiva; desarrollo sustentable; solidaridad; precaución; énfasis preventivo en relación al represivo; corrección de las fuentes; prohibición del uso lesivo por terceros de un elemento ambiental por acción u omisión; restauración efectiva; corresponsabilidad y responsabilidad diferenciada; subsidiaridad; integración de las políticas sectoriales; la solidaridad, contaminador pagador y el principio de regulación jurídica integral que abarca la defensa, mejoramiento, conservación y restauración de ambiente.

En Andalucía, España, el referido reglamento regula un régimen de "reparación de daños" y "ejecución forzosa". En tal sentido se estipula que están obligados tanto a reparar el daño causado como a indemnizar los perjuicios derivados del mismo.

Respecto a la "restauración, repoblación o tareas de cualquier otra índole" que le corresponda realizar para reparar el daño causado, se deberán indicar los plazos para la iniciación y ejecución de las medidas ordenadas y las superficies sobre las que deben llevarse a cabo. El incumplimiento de las obligaciones de reparación del daño causado o repoblación por parte de los responsables de las infracciones facultará a la Consejería de Medio Ambiente para proceder a la "ejecución forzosa" mediante la imposición de multas coercitivas o la ejecución subsidiaria de las medidas ordenadas.

La Ley de la provincia de San Luis establece la ejecución inmediata de obras o trabajos, o el cumplimiento de cualquier obligación de hacer por cuenta y a cargo de los infractores o presuntos infractores

³⁸ PAREDES, Viviana A. Responsabilidad por afectación al medio ambiente, in Op. Cit.

6.3. Responsabilidad penal

En lo atinente a la "responsabilidad penal", el Código penal argentino, expresamente en el Título VII delitos contra la seguridad pública, capítulo 1 incendios explosión e inundación; daño a bienes rurales, dispone en el artículo 186, que: "El que causare incendio, explosión o inundación, será reprimido: 1º) Con reclusión o prisión de tres a diez años, si hubiere peligro común para los bienes. 2º) Con reclusión o prisión de tres a diez años el que causare incendio o destrucción por cualquier otro medio: a) De cereales en parva, gavillas o bolsas, o de los mismos todavía no cosechados. b) De bosques, viñas, olivares, cañaverales, algodinales, yerbatales o cualquiera otra plantación de árboles o arbustos en explotación, ya sea con sus frutos en pie o cosechados. c) De ganado en los campos o de sus productos amontonados en el campo o depositados. d) De la leña o carbón de leña, apilados o amontonados en los campos de su explotación y destinados al comercio. e) De alfalfares o cualquier otro cultivo de forrajes, ya sea en pie o emparvados, engavillados, ensilados o enfardados. f) De los mismos productos mencionados en los párrafos anteriores, cargados, parados o en movimiento. 3º) Con reclusión o prisión de tres a quince años, si hubiere peligro para un archivo público, biblioteca, museo, arsenal, astillero, fábrica de pólvora o de pirotecnia militar o parque de artillería. 4º) Con reclusión o prisión de tres a quince años, si hubiere peligro de muerte para alguna persona. 5º) Con reclusión o prisión de ocho a veinte años, si el hecho fuere causa inmediata de la muerte de alguna persona.

Las figuras fundamentales contenidas en este artículo son dos: las de incendio, explosión e inundación (parte 1º, inc. 1º) y la de destrucción de bienes rurales (inc. 2º). La primera requiere para su configuración la creación de un peligro común para los bienes, no siendo ello necesario en la segunda. La pena prevista es de tres a diez años de reclusión o prisión, para ambas figuras, que se eleva en caso de existir peligro para determinados bienes (inc. 3º, de tres a quince años), para alguna vida humana (inc. 4º, de tres a quince años) o cuando la acción provoque la muerte de alguna persona (inc. 5º, de ocho a veinte años).

En cuanto a la causación de incendio, explosión, inundación, inciso 1º.- Sin peligro común para los bienes; el solo empleo de estos medios no es constitutivo de ilícito alguno. Si perjudica bienes ajenos, se incurrirá en daño o usurpación mientras no exista alteración de las condiciones materiales de la seguridad común. En cambio, la creación de aquel riesgo torna indiferente que

el perjuicio recaiga aun sobre bienes propios, porque lo que aquí se pune es «la extensión posible de los eventuales daños».

Es una figura de peligro concreto, lo cual hace necesaria una amenaza cierta, posible, seria, evidente, efectiva, a un número indeterminado de bienes, ya sean ajenos, propios o sin dueño, de cualquier clase, valor o naturaleza. Es un delito doloso, apoyado en el «conocimiento de la naturaleza del medio empleado (combustible, explosivo) y la voluntad de emplearlo». El dolo eventual, la actitud de indiferencia ante los riesgos previsibles, basta para la incriminación del delito.

Causa incendio quien intencionalmente enciende o aviva un fuego, de tal magnitud que no pueda controlar, que se torna peligroso por su potencialidad expansiva autónoma y en sí misma ilimitada, aunque sea posible dominarlo por otros medios. Existiendo combustión propagante y peligro, existe incendio, aunque no haya llamas: la lenta combustión es también incendio.

Causa explosión quien logra una liberación instantánea, súbita, irrefrenable y violenta de una gran energía, provenga ésta o no de una materia explosiva, ya sea que se produzca por un proceso de combustión, transformación, compresión o dilatación.

Respecto a la destrucción de bienes rurales, inciso 2º.- No se requiere aquí la existencia de un peligro común, sino que basta la destrucción de determinados bienes ajenos, por cualquier medio, entre los cuales la norma cita, a título de ejemplo, el incendio.

Se trata de un delito de daño calificado y no de uno que atente contra la seguridad común. Es claro que, cuando se lo incluyó, circunstancias del momento los hacían aparecer vinculados. En vez de una fórmula generalizadora, la ley opta por la mención individualizadora de los objetos que pretende proteger y, naturalmente, quedan fuera de la ley y de la protección una gran cantidad de productos.

Obran figuras agravadas: 1). "Riesgo para ciertos bienes públicos", inciso 3º.- Cuando por incendio, explosión, inundación, o tratándose de bienes rurales, cualquiera sea el medio por el que se proceda a su destrucción, se ponga en peligro la serie de bienes enumerados en el inc. 3º de la disposición, es de aplicación esta agravante. 2). "Peligro de muerte", inciso 4º. - Ha de tratarse de un peligro «real, efectivamente corrido y no presunto»²⁵ y sufrido por persona determinada. No se incluye al autor del hecho dentro de este concepto. 3). "Muerte de alguna persona", inciso 5º.- Se trata de un resultado preterintencional. Si la muerte de la persona ha sido prevista y deseada, o ha sido indiferente para el autor su acaecimiento, la conducta encuadra en el art. 80, inc. 5º (homicidio por medio catastrófico).

Pero, al exigir la ley vinculación directa entre la acción y la muerte producida, excluye del proceso causal todo resultado acaecido con motivo u ocasión del delito. Importa, una limitación a los principios generales. Por ello no quedan incluidas la muerte de un bombero, del curioso, del que retorna al lugar del siniestro a rescatar algo, o la del imprudente.

7. Régimen de reparación

El art. 41 de la Constitución Nacional argentina, en el primer párrafo, in fine, dice: «El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley».

La norma constitucional no es lo suficientemente clara y completa como se hubiera deseado. Envía a una legislación que debe dictarse y que todavía no se ha dictado. Además, no establece quiénes deben proveer a la reparación. Tampoco determina a qué especie de daño ambiental se refiere, si al que sufren las personas en sus derechos como consecuencia de una determinada contaminación, o si al daño que afecta a todos, es decir el daño a los intereses difusos de la población en razón de alterarse alguno de los elementos naturales.

En el derecho positivo argentino existe un conjunto de normas respecto de la responsabilidad civil que son aplicables a los daños que sufren las personas como consecuencia de la degradación de los recursos naturales, la contaminación ambiental que afecta derechos subjetivos como la salud, la vida, la calidad de vida.

Existe una serie de artículos del Código Civil argentino que deben tenerse en cuenta al momento de resolverse por los jueces los casos que conlleven responsabilidad civil por daños al medio ambiente.

Los que dañan el ambiente tienen dos tipos de obligación de reparar el daño ocasionado: una es la de indemnizar el daño ocasionado a las personas o a las cosas por haberse alterado el medio ambiente y otra es la de "recomponer" eventualmente tal medio en sí mismo.

La primera obligación se funda en los arts. 1109 y 1113 Código Civil argentino, pero no existe todavía una ley que posibilite disponer la "recomposición" del ambiente afectado propiamente dicho.

En contra de este criterio, y fundándose en el carácter operativo del deber de preservar el ambiente, opina Peyrano³⁹ que los jueces pueden disponer sentencias no sólo ordenando indemnizar el daño, sino también disponiendo la recomposición, reparación del ambiente alterado. Para este autor, no debe ser exigible una disposición legal específica para la obligación de recomponer el ambiente, ya que dicha obligación no es sino la contracara imprescindible del deber constitucional de respeto del ambiente. Como consecuencia, los jueces deberán integrar el derecho para hacer cumplir este deber, aunque no exista disposición legal respectiva.

Cuando un particular es víctima en su persona o bienes de daños provenientes de la contaminación ambiental, sea del aire, del agua o del suelo, es aplicable el factor objetivo del riesgo creado (art. 1113, 2º. Parte, Código civil argentino), para responsabilizar al dueño o guardián de la cosa cuyo vicio o riesgo fue la causa del perjuicio⁴¹, en igual sentido si operan daños producidos por el fuego prescripto.

Por su parte, Gustavo de Santis⁴⁰, considera que el daño ambiental goza de algunas particularidades respecto del daño en general al que se refiere el código civil. Según este concepto, las reglas para la reparación del daño ambiental no pueden ser las mismas que las que protegen los derechos subjetivos, simplemente porque este tipo de daño puede conculcar además otro tipo de prerrogativas, los llamados por la reforma constitucional, en el referido art. 43, "derechos de incidencia colectiva".

El afectado por un problema de contaminación o degradación ambiental presenta una doble legitimación. Tiene el interés propio por daños producidos a su persona o a sus bienes, pero también tiene otro interés distinto, colectivo, de pertenencia difusa, si se quiere, pero que también le confiere legitimación para accionar. Para la defensa de este segundo interés, Bustamante Alsina considera que el afectado debe tener un interés razonable y suficiente, no desde la estimación subjetiva del accionante, sino desde la valoración objetiva y en abstracto que hará el juez considerando la posible real afectación del reclamante por su vecindad espacial con el hecho o la circunstancia determinante del interés difuso⁴².

³⁹ PEYRANO, Guillermo F. "El cumplimiento efectivo de la sentencia ambiental", in Revista Jurisprudencia Argentina, n° 6068, del 17/12/97, pp. 32-33.

⁴⁰ En este sentido, véase BUSTAMANTE ALSINA, Jorge. "El daño ambiental y las vías procesales de acceso a la jurisdicción", in Jurisprudencia Argentina, IV, 1996, p. 896.

⁴¹ DE SANTIS, Gustavo: "La protección constitucional del ambiente. La legitimación del art. 43 de la Constitución Nacional después de la reforma", in La Ley. 1.995-D-1117.

⁴² BUSTAMANTE ALSINA, Jorge. Derecho Ambiental... Op. Cit, p. 86.

8. Vías procesales

La reparación civil por daños ocasionados por el fuego prescripto puede realizarse a través de acciones judiciales sobre indemnización de daños y perjuicios (de trámite dilatado en el tiempo). Pero es posible recurrir a una vía más expedita, rápida, tal es solicitar mediante una acción de amparo la cesación de los actos de contaminación o degradación de los recursos naturales y la recomposición del ambiente. Esta acción podría dirigirse contra quienes contaminan y también contra quienes tienen la responsabilidad de hacer cumplir la legislación vigente y de impedir la contaminación y no lo hacen (amparo por omisión de las autoridades).

El derecho positivo argentino prevé como medios de defensa: la acción de amparo en el artículo 43 de la Constitución Nacional, la acción de daño temido y la cesación de molestias basada en la normal tolerancia en los artículos 2499 y 2618, respectivamente del Código Civil.

La legitimación activa para obtener la preservación del medio ambiente corresponde a cada uno de los miembros de la comunidad afectada, los que pueden interponer acción de amparo en los términos del art. 43 de la Constitución Nacional; pero se supedita la acción por reparación a la acreditación de un daño cierto a una persona o a sus bienes. Si no fuera así, no procede la vía reparatoria. Es lo que surge de la normativa argentina aplicable al caso (la responsabilidad civil en virtud de la aplicación de los artículos 1109, 1113 y 2618 del Código Civil argentino), ya que no ha emanado ninguna legislación específica respecto de reparación del daño ambiental por parte de los órganos legisferantes.

Una dificultad típica de estos procesos en que se demanda la reparación del daño ambiental está dada por la dificultad de la prueba de las causas de este daño, cuando proviene de fuentes de contaminación difusas. Esta dificultad en la prueba exigirá mucha inversión de dinero por parte de los demandantes, y será desalentadora para empezar un proceso con fines a una reparación pecuniaria.

No obstante las dificultades expresadas para solicitar la reparación de un perjuicio concreto sufrido por alguna persona, también existe otra posibilidad: solicitar no ya una indemnización para uno mismo, sino la recomposición del ambiente, en beneficio de la comunidad. No se da en este caso una reparación civil para un interés individual, sino que se otorga de este modo una suerte de reparación del interés general dañado,

ya que el interés colectivo, general, es la recomposición del ambiente. La posibilidad existe aunque la constitución nacional establezca que la obligación de recomponer deberá ser reglamentada por ley, ya que los derechos consagrados en la constitución tienen carácter inmediatamente operativo, conforme lo ha sostenido la Corte Suprema desde los antecedentes de los casos Siri y Kot, desde 1957, al haber expresado que "las garantías individuales existen y protegen a los individuos por el solo hecho de estar consagradas en la Constitución e independientemente de las leyes reglamentarias." Es que los derechos subjetivos no dejan de tener vigencia, de ser aplicados ni de merecer la protección del Estado por el solo hecho de que la ley o lo haya explicitado en su contenido o no lo haya arbitrado los institutos procesales para su defensa.

La reclamación de la recomposición del ambiente integra el derecho subjetivo a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano, que no es sino el derecho a la calidad de vida, lo cual no constituye un mero enunciado constitucional, sino que se trata de un verdadero derecho subjetivo fundamental, directamente operativo aunque el gobierno de la Nación no haya dictado las normas reglamentarias o complementarias para su aplicación.

Una adecuada legislación que ampare los derechos fundamentales para la vida debe procurar la utilización racional de los recursos naturales, la preservación del patrimonio natural y cultural y la biodiversidad, ya que en materia ambiental es más fácil prevenir que reparar.

La finalidad a perseguir por las futuras normas debe centrarse no solo en la sanción sino en la prevención, la educación, la concientización de la importancia de la preservación de los recursos naturales, la interdependencia de los recursos naturales con los otros subsistemas que componen el ambiente, y la participación ciudadana.

El interés de que se trata en el derecho subjetivo es un interés propio de cada portador de un derecho individual, excluyente y exclusivo; lo que no impide que litigue más de un sujeto en forma conjunta o que en un litigio colectivo se resuelvan los derechos subjetivos de varias personas. Sin embargo la reparación del interés se hará para cada uno también en forma personal, exclusiva y excluyente⁴³.

La legitimación activa supone aptitud para estar en juicio como parte actora a fin de lograr

⁴³ Ibid.

una sentencia sobre el fondo o mérito del asunto. Antes de la reforma del año 1994, no existía en la jurisprudencia antecedentes de sentencias que legitimen el derecho de una sociedad ejercido por cualquiera de sus miembros a fin de proteger sus derechos ambientales. A excepción de caso fallado por el Juez Garzón Funes en la causa Kattan a y otro c/ Poder Ejecutivo de la Nación.

Los derechos de incidencia colectiva son de titularidad indivisible en virtud de la relevancia que adquieren. La Constitución otorga legitimación para estar en juicio en defensa de estos derechos públicos de la sociedad a tres sujetos: 1) Al propio afectado; 2) El Defensor del Pueblo; 3) Las asociaciones que propendan a esos fines; 4) La ley de defensa al consumidor, incluye además como cuarto legitimado al Ministerio Público⁴⁴.

El afectado, es todo sujeto que no habiendo sido dañado se encuentra ante la posibilidad de serlo, puede ejercer la defensa de un derecho colectivo o de su interés legítimo en beneficio de toda la comunidad, siempre que pruebe la existencia de un daño cierto y personal.

Las asociaciones que propendan a esos fines siempre que estén debidamente registradas, son también legitimadas activas sin embargo hasta el momento solo se ha limitado su actividad a intervenir con fines de prevención y de cesación de daño ambiental.

También se incluyen, conforme surge de lo expuesto al Defensor del Pueblo, en cuanto es el representante de los intereses colectivos designado al efecto⁴⁵.

El Ministerio Público es incorporado ya que el mismo asume el deber de proseguir las acciones en caso de desestimiento de la parte actora.

El principio general es que todo el que menoscaba el ambiente, por acción u omisión puede ser demandado. La acción puede dirigirse contra: 1) El productor o empresario agrario, que lesione con su actividad ocasionando un daño agroambiental; 2) El Estado cuando este hubiese autorizado la actividad.

El art. 43 de la constitución Nacional argentina establece que ante la configuración de un daño que afecte algunos de los derechos en cues-

tion, el Estado nacional o provincial deben otorgar amparo a los mismos.

Los jueces solo pueden rechazar de «in limine» esta acción ante una falta de legitimación manifiesta en el actor ya sea por tratarse de un particular no afectado o de una asociación no registrada debidamente. Esta vía procesal será procedente conforme surge de la norma, siempre que no exista otra forma más efectiva prevista en el ordenamiento jurídico para la protección del derecho afectado⁴⁶.

9. Conclusiones

En cuanto hecho técnico, el fuego prescripto o quema controlada o quema racional, es una opción a tener en cuenta para erradicar pastizales, etc., pero el mismo debe ser usado conforme a la buena técnica agraria. Se debe cumplir con lo prescripto, con lo establecido, adoptándose los resguardos necesarios en protección de la vida y bienes de las personas como así también del ambiente.

Urge el dictado de normas que pauten las conductas a seguir por parte de los empresarios y productores que deseen utilizar esta técnica, estableciéndose un procedimiento eficaz, con la participación de la autoridad competente.

Resulta de importancia la capacitación respecto a su aplicación y el asesoramiento por parte de profesionales con experiencia. Asimismo se debería difundir las obligaciones que engendra el mal uso del fuego prescripto.

Hay derechos humanos que se deben proteger, por encima de toda actividad, tales son: la vida, la calidad de vida, la salud, la biodiversidad, el ambiente, el desarrollo sustentable. Precisamente la actividad agraria y las diversas técnicas empleadas para su desarrollo encuentran un límite en los referidos derechos humanos, en cuanto si bien está reconocido constitucionalmente el derecho de ejercer toda industria lícita (por ende ejercer la actividad agraria en cualquiera de sus especializaciones), o bien el derecho de dominio respecto a nuestros bienes, estos derechos no son absolutos y se encuentran condicionados por los derechos referidos.

⁴⁴ VICTORIA, María Adriana; DÍAZ LANES, Federico; MAUD, Ana María; TOMÉ, Myriam; SILVA, Hugo. "Mecanismos procesales al servicio de la protección al agroambiente", in Comité Americano de Derecho Agrario. Justicia Agraria y Ambiental en América Latina. San José de Costa Rica. Editorial Guayacán Centroamericana S.A. 1998. pp. 503-531.

⁴⁵ PAREDES, Viviana A. Responsabilidad por afectación al medio ambiente, in .Jurisprudencia Argentina... Op. Cit.

⁴⁶ VICTORIA, María Adriana. DÍAZ LANES, Federico; MAUD, Ana María; TOMÉ, Myriam; SILVA, Hugo. "Mecanismos procesales al servicio de la protección al agroambiente", in Comité Americano de Derecho Agrario. Justicia Agraria y Ambiental en América Latina... Op. Cit. p. 528.

La propiedad agraria cumple una función social y también ecológica. La buena técnica agraria que se debe aplicar en el fuego prescripto permite el ejercicio de los señalados derechos.

El fuego prescripto es una opción a ser tomada con responsabilidad; con claridad se debe conocer qué se puede hacer y qué implicaría un riesgo. El mero riesgo de producir daños justifica la adopción de un plan y el dictado de normas que regulen un procedimiento eficaz. Es un deber del empresario o productor pero también un derecho de conocer las reglas a las que debe atenerse para no violar los derechos de los demás.

No obstante el vacío legal respecto al fuego prescripto en la provincia de Santiago del

Estero, en cuanto al régimen de responsabilidad hay normas que se pueden aplicar. Se hace necesario la capacitación de quienes lo utilizarán, la difusión de la técnica indicándose no solo los beneficios sino los riesgos que implica y la prevención; en suma el fuego prescripto debe realizarse conforme a la buena práctica agraria.

Las normas, tanto técnicas como jurídicas, por si solas no bastan, es un imperativo su aplicación, control, monitoreo, evaluación. Un rol importante desempeñan los medios de difusión para el logro de una participación ciudadana conciente, informada, educada y responsable.



Percepción Remota y SIG para el estudio del fuego

Hugo Raúl Zerda¹



Imagen: INSTITUTO CLIMA Y AGUA -INTA

¹ Universidad Nacional de Santiago del Estero y Universidad Católica de Santiago del Estero.
e-mail: hzerda@netscape.net

1. Introducción

El hombre aporta al denominado cambio climático global mediante la quema de combustible para calefacción, transporte e industria. La transformación de extensas superficies de bosques en áreas de cultivos y la quema de pastizales, aportan a la denominada "quema de biomasa"², y también modificando muchas características de diversos ambientes.

En este capítulo se tratará sobre: (a) aplicación de la Percepción Remota (PR) para la detección y evaluación del fenómeno fuego, y (b) producción de cartografía y el análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

2. La Percepción Remota y los Sistemas de Información Geográfica

2.1. La Percepción Remota

En las ciencias de la tierra, un problema siempre presente es el levantamiento y la representación de espacios territoriales de grandes dimensiones. La Percepción Remota (PR) ha sido definida por Eastman (2001) como "todo proceso de adquisición de información sobre un objeto, área o fenómeno, sin entrar en contacto con él". La PR es una herramienta que permite avanzar notablemente sobre la problemática de la producción y análisis de información geográfica. No obstante presentar esta definición, existen también otras, que tienen los siguientes elementos en común:

1) una fuente emisora, 2) un objeto a estudiar, 3) un sistema capaz de captar información y 4) distancia entre el objeto a estudiar y el sistema que capta la información.

Según estos principios básicos se puede esquematizar a un sistema de PR y sus componentes en la Figura 1, incluyendo también en este sistema al proceso de análisis y producción de información.

Debe destacarse que la energía electromagnética (EEM), en el caso del ejemplo citado (sensores pasivos³) constituida por la luz solar, sufre diversas interacciones con los gases y sólidos contenidos en la atmósfera, lo que hace necesario aplicar distintos tipos de correcciones a los datos originales. También se verifica la absorción de EEM por parte de cuerpos como la superficie terrestre y otros objetos, que posteriormente emiten EEM en forma de energía térmica.

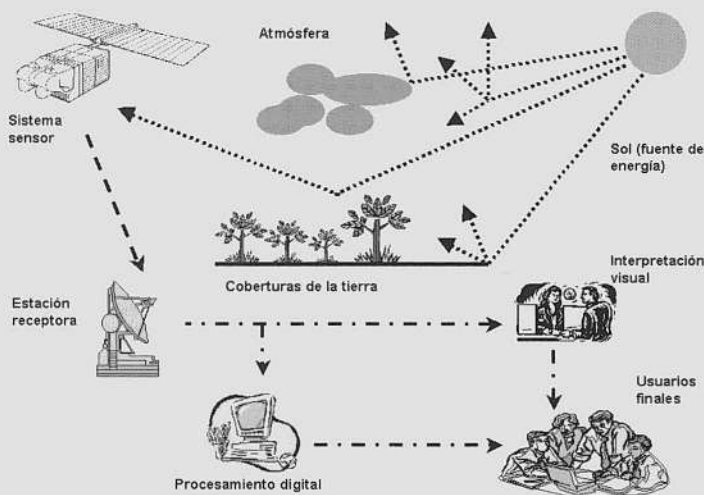


Figura 1. Esquema elemental de la percepción remota, caso de un SR del tipo activo.

2.1.1. El espectro electromagnético y el comportamiento de las coberturas

El espectro electromagnético (EsEM) se divide en diversas longitudes de onda y solo una pequeña parte del mismo es utilizado por nuestros ojos. Debido a ello, existe una gran cantidad de información sobre el medio físico que no podemos captar. Los sensores remotos, al extender la amplitud de captación de información, pueden registrar variaciones de la EEM que no perciben nuestros ojos. Esta enorme capacidad extendida de los SR, permiten al analista de datos provenientes de la PR, reconocer, identificar y clasificar diversos objetos, fenómenos y eventos, que se desarrollan en una dimensión diferente a la de la natural capacidad del hombre para percibirlos.

² Quema de biomasa: toda actividad humana intencional asociada con el desmonte, quema de la vegetación de sabanas para estimular la regeneración de pastos para el ganado, quema de leña y carbón vegetal y consumo de residuos agrícolas. (Cielsa, 1996).

³ Ver 2.1.2. Tipos de sensores remotos.

Las diversas coberturas de la tierra se comportan de forma muy variada entre sí, ante la EEM que incide sobre ellas, pero a la vez, de una forma característica para cada una (Figura 2). Este comportamiento propio de cada material se denomina firma espectral. En el caso de la vegetación, la reflexión de EEM se incrementa en gran forma al pasar de la región correspondiente al rojo (0,62-0,70 mm) a la del infrarrojo IR (> 0,7-1,4 mm), no sucede lo mismo con el suelo desnudo que refleja gran cantidad de EEM en la región visible, o el agua con una muy baja a casi nula reflexión en la del infrarrojo.

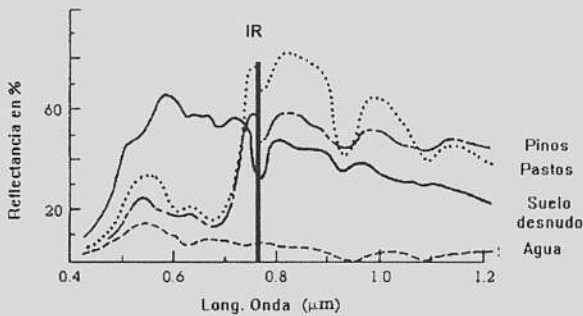


Figura 2. Firmas espectrales de diversas coberturas de la tierra.

Es importante considerar que el comportamiento espectral de la Figura 2 corresponde a mediciones de laboratorio, donde es posible construir curvas para valores muy próximos del EsEM, dando a las mismas el aspecto de continuas. Para el caso de los SR satelitales multiespectrales, las curvas adquieren el aspecto de la Figura 3, debido a que se elaboran utilizando el número digital de un determinado píxel o el valor medio de un grupo de píxeles, para un intervalo del EsEM, el correspondiente a cada banda espectral.

Pereira *et al.*, 1999 citando a Robinson (1991) indican que "un aspecto esencial para el reconocimiento de los efectos del fuego sobre las coberturas de la tierra es que existen dos tipos de señales posteriores al fuego: la formación y deposición de carbón, las superficies calcinadas, y la alteración de la estructura de la vegetación y abundancia, comúnmente llamada cicatrices de fuego. El primer tipo de señal es consecuencia absoluta de la combustión de la vegetación, la que tiene una duración relativamente corta y tiende a ser fuertemente atenuada por el viento y la lluvia, pocas semanas o meses posteriores al fuego. La segunda señal es más estable, su persistencia puede variar de 2-3 semanas en pastizales, a varios años, pero es menos significativa para discriminar los efectos del fuego".

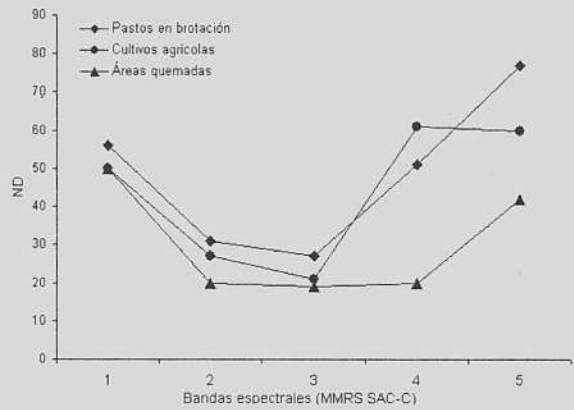


Figura 3. Comportamiento espectral de diversas coberturas detectadas mediante el sensor MMRS del satélite argentino SAC-C.

Cabe citar que estas aseveraciones no se refieren al caso de la detección de fuegos activos, los focos de calor o "hot-spots" en la literatura inglesa, tema que se desarrollará más adelante. Una revisión y resumen de las características de las áreas quemadas y su relación y comportamiento en diversas regiones del EEM se citan en la Tabla 1.

2.1.2. Tipos de sensores remotos

Se denomina sensor remoto (SR) a "un instrumento que recolecta energía, sea energía electromagnética (EEM) u otra, la convierte en una señal y la transforma en una forma conveniente para obtener información sobre el ambiente" (Jensen 1996).

Desde esta perspectiva, podemos ver que SR son también nuestros ojos, las cámaras fotográficas con sus más conocidos sistemas ópticos, hasta las más modernas cámaras digitales y los sistemas electro-ópticos montados en plataformas espaciales. En este capítulo, se tratará exclusivamente el caso de los SR satelitales, los que pueden clasificarse según diferentes criterios:

La fuente de energía que utilizan:

- Sensores pasivos: captan energía procedente de una fuente externa (p.ej. del sol), ya sea reflejada o emitida por los diferentes objetos (Figura 1).
- Sensores activos: captan EEM una fuente de energía, propia, caso de los radares.
- La forma de captar el territorio:
 - Fotográficos o analógicos: registran la EEM en una emulsión fotográfica, posteriormente se produce la imagen correspondiente en papel fotográfico.
 - Electro-ópticos o Digitales: el sistema tiene una componente óptica y otra electrónica, la EEM se registra de forma digital, posteriormente pue-

Tabla 1. Comportamiento espectral de diversas coberturas vegetales ante la acción del fuego (Pereira et al., 1999).

Región visible:	(0,4-0,7 nm)		
Tipo de vegetación	Región / sensor	Cambio espectral	Comentarios
. Sabana africana . Bosques tropicales y pastizales	Rojo TM1, TM2, TM3	0,05 aumento	. radiometría de campo . en TM2 y TM3 las áreas quemadas son más oscuras que los pastizales
. cerrado brasileiro	TM3	aumento 6-8 ND	
Región IR cercano:	(0,7-1,3 nm)		
. Sabana tropical	TM4	disminución	. solo el agua es más oscura que los quemados
. Sabana africana	IR cercano	disminuye	. al final estación de fuegos
. Bosques tropicales y pastizales	TM4	disminuye	. las áreas quedan oscuras por más de 4 años
Región IR medio:	(1,3-8,0 nm)		
. Sabana tropical	TM5, TM7	disminuye	. las quemadas son más oscuras en TM5, solo el agua es más oscura
. Sabana tropical y bosques	ATSR-1	disminuye	. serie temporal de datos
. Bosques tropicales y pastizales	TM5, TM7	variable	. quemadas menos oscuras que bosque primario, pero más oscuras que bosque secundario
Región IR térmico:	(8,0-14,0 nm)		
. Bosques tropicales y pastizales	TM6	aumento	4 km resolución espacial
. Sabana tropical	ATSR-1		Serie temporal en época de pastos secos
. Sabana tropical	AVHRR	aumento 10-15 °C aumento	

de ser transformada a formato analógico o digital de diversos formatos.

La cantidad de canales o bandas espectrales:

- Pancromáticos: registran el territorio en un rango del espectro electromagnético que comprende todo o gran parte de la región visible, inclusive una porción del infrarrojo.
- Multiespectrales: registran el territorio en varias porciones separadas del espectro electromagnético (p.ej. LANDSAT 5 TM en 7 porciones del espectro, configurando los denominados canales o bandas).

- Hiperespectrales: registran el territorio en numerosas porciones separadas del espectro electromagnético, son los sensores remotos más modernos, hasta 224 canales o bandas en el sensor AVIRIS.

La órbita en la cual se ubican:

- Geoestacionarios: orbitan a la Tierra a una altitud promedio de 35.900 km., al mantenerse en el mismo punto de observación relativo captan la misma porción de la superficie terrestre, en intervalos de tiempo relativamente cortos, 1 o más veces al día. Son los denominados "satélites meteorológicos".

- Polares, sincrónicos con el sol: siguen órbitas polares, con diversas inclinaciones respecto del Ecuador, son sincrónicos con el sol, para asegurar igual iluminación para diversas épocas del año. Es el caso de los satélites para estudios ambientales y de recursos naturales, como ser: LANDSAT, SPOT, SAC-C, MODIS, entre otros.

2.1.3 Concepto de resolución

Tanto para seleccionar como para utilizar e interpretar adecuadamente datos satelitales es necesario conocer el significado de resolución, de los diversos tipos de resolución existentes, que condicionan desde la adquisición a la aplicación de los datos satelitales. Por ello se ha definido a las diversas resoluciones como:

- **Resolución espacial:** es la medida de los objetos más pequeños que pueden ser registrados por un sensor.

- **Resolución espectral:** número, intervalos específicos y ancho de las bandas en el EsEM en las que el sensor registra los datos.

- **Resolución radiométrica:** rango dinámico o valores de brillo en que se graban los datos registrados por el sensor. P.ej.: una imagen de 8 bits tiene 256 tonos de grises ($2^8 = 256$).

- **Resolución temporal:** periodicidad entre un registro y otro de la misma porción de la superficie terrestre.

Por lo visto hasta aquí, no siempre es acertado sostener que "tal sensor es mejor que tal otro", sin hacer referencia al objetivo del estudio, ya que es este último, el que determina en cada caso, cual o cuales resoluciones son las más adecuadas. Un ejemplo de esto sería el caso de un estudio sobre la distribución espacio-temporal de focos de fuego en el Chaco argentino, ¿deberían utilizarse imágenes del sensor multiespectral HRG del SPOT5?, tales datos tienen una alta resolución espacial (10 m x 10 m), con una cobertura en terreno de 60 km x 60 km. Por ello, sería necesaria una enorme cantidad de escenas para cubrir el área; además el cubrimiento de la región solo podría completarse en un período de tiempo relativamente largo, tal vez de varias semanas.

Si se investigara el mismo fenómeno mediante el sensor VEGETATION, otro instrumento que transporta el satélite SPOT5, con una menor resolución espacial (1 km x 1 km), pero cubriendo en un mismo día una faja de terreno de 2.250 km, se podría aumentar la frecuencia de observación (resolución temporal), además de cubrir casi todo el Gran Chaco con una sola escena.

Una conclusión sobre estos comentarios es que, para todo estudio debe buscarse una solución entre el óptimo de resoluciones según los objetivos del proyecto.

2.1.4. Carácter digital de los datos y de áreas afectadas por el fuego

El carácter numérico de los datos provenientes de la PR ha incrementado las capacidades de captación, detección y análisis de información territorial debido fundamentalmente al desarrollo de tecnologías digitales, la microelectrónica, las telecomunicaciones, el almacenamiento y el procesamiento de datos mediante computadores, como también el desarrollo de programas informáticos. La PR ha sabido aprovechar de este nuevo paradigma, el de la tecnología digital.

Una imagen está estructurada como una matriz numérica, compuesta de filas y columnas. Cada celda de matriz está representada por un valor, denominado corrientemente como número digital (ND). Esta celda, la unidad mínima de imagen, se denomina píxel, el mínimo elemento de la imagen. De esta manera, una imagen puede ser representada mediante una estadística elemental y básica, su histograma de frecuencias, que representa el número de píxeles en cada nivel de brillo o de grises. Una gran ventaja de los datos digitales consiste en que admiten ser reutilizados mediante los más diversos procedimientos, equipos y programas informáticos; una vez procesados pueden ser reproducidos y archivados como un nuevo producto. De esta manera, las imágenes y mapas generados pueden ser impresos en las más diversas escalas y tamaños. Sobre esto último, cabe agregar que cuando se hace referencia a datos digitales, en la literatura de lengua inglesa, se relaciona el concepto de escala con la resolución espacial, y esto es interesante de citar; si bien puede observarse una imagen a una determinada escala en un monitor, esta admite ampliaciones sucesivas sin modificar su naturaleza ZOOM, es posible visualizar hasta un píxel individualmente, sin que esto signifique aumentar la resolución, y si simplemente ampliar la imagen sin obtener una ganancia real de información.

Mediante los programas informáticos de procesamiento de imágenes, pueden realizarse las denominadas combinaciones en color, producto de seleccionar dos o tres bandas espectrales del total que provee cada SR y, combinarlas de diversas formas en el conjunto de los tres planos de color, rojo, verde y azul (RVA) de un monitor de computador. De esta manera, considerando una imagen ETM+ LANDSAT7, de 7 canales multiespectrales, una combinación 543-RVA sería la composición color producto de posicionar los canales 5,4 y 3 en los planos de color rojo, verde y azul respectivamente.

Estas combinaciones, permiten incrementar la percepción de objetos, áreas o fenómenos en estudio, aumentando las capacidades del analista de imágenes, al utilizar bandas espectrales que

abarcan porciones del EsEM que el ojo humano no registra y, por lo tanto no puede utilizar para discriminar fenómenos que se manifiestan en estas regiones del EsEM.

En la detección de áreas calcinadas puede aprovecharse la característica multispectral de los datos satelitales. En un producto estándar como 543-RVA en falso color, las áreas calcinadas aparecen en fuertes tonos de azules oscuros-violetas, dependiendo sus intensidades del tratamiento que se efectúe sobre las imágenes. Los colores son consecuencia directa de la combustión de la vegetación y los restos vegetales que quedan posteriormente a la quema.

Las experiencias sobre superficies quemadas en el Chaco argentino muestran un comportamiento espectral similar a lo indicado en la Tabla 1, pueden detectarse áreas quemadas en bandas espectrales individuales (Zerda 2003).

Una vez pasado el efecto inicial del fuego, el suelo cubierto de restos carbonizados y cenizas, según el tipo de vegetación que sustentaba el sitio, se irá transformando por acción del viento, la lluvia, en algunos casos por la acción del hombre. El restablecimiento de un área quemada debido a la brotación de vegetación herbácea se observa en la Figura 4 y, corresponde a un área ubicada al sur de la Ciudad Capital de la Provincia de Santiago del Estero. Observe que en todas las bandas espectrales los números digitales valores (ND) de las pasturas en brotación superan a las áreas quemadas, esto tiene un significado pictórico definido, en todas las bandas las áreas quemadas se observarán más oscuras que las áreas con pastos, siendo esto más acentuado en las bandas espectrales correspondientes al infrarrojo.

Finalmente, hay que considerar que las superficies afectadas por el fuego pueden estar cubiertas por cenizas o carbón, siendo en ambos casos productos de diferentes procesos de combustión o materiales, situación que influenciará sobre la detección que puedan realizar los SR (Pereira 1997).

2.2 Los Sistemas de Información Geográfica

Los SIG, como ciencia aplicada, brindan el marco adecuado que permite inventariar, monitorear y pronosticar, en este caso, los efectos del fuego y otros tipos de fenómenos; abarcan desde la producción, compilación y visualización de geodatos, hasta el análisis espacial y la elaboración de modelos.

El Centro Nacional para Información Geográfica y Análisis (NCGIA, 1990) define a los SIG como: un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente

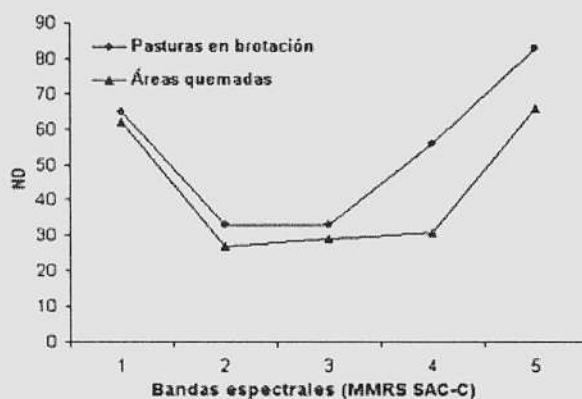


Figura 4. Respuesta espectral de un área quemada detectada por el sensor MMRS del satélite argentino SAC-C.

referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

La literatura sobre SIG tiende a representar su estructura básica como un conjunto de capas, formadas cada una por un tema diferente, p.ej.: vegetación, suelos, pendientes, drenajes; cuyas relaciones espaciales pueden ser determinadas por los SIG mediante diversos modelos (Figura 5). Autores desde Berry (1964) a Buzai (1999), destacan que el tiempo conforma una cuarta dimensión, propia para el estudio de los fenómenos multitemporales, que admite ser representada y sobre todo analizada como una o más capas en el contexto de los SIG.

2.2.1. Representación del territorio

Muy importante para entender la filosofía de los SIG, es conocer la estructura de los datos que pueden manejar, debido a que aquí se representan elementos geográficos, se pasa ahora a examinar conceptos básicos.

Un espacio geográfico puede contener diversos elementos o entidades, que admiten ser representados mediante los SIG (Figura 6). Esta representación del territorio debe entenderse en un marco georreferenciado, en un determinado sistema de coordenadas espaciales. El mundo real, formado por diversas coberturas y usos de la tierra puede ser visualizado a través de una representación sintética o resumida.

Cada una de estos tipos de representaciones de las entidades espaciales tienen sus ventajas y desventajas y su utilización depende fundamentalmente del objetivo del SIG, de cómo se obtienen los datos para conformar la base de geodatos, del tipo de análisis que se realizará con ellos, entre otros aspectos.

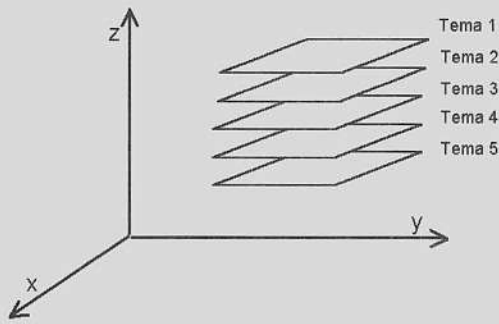
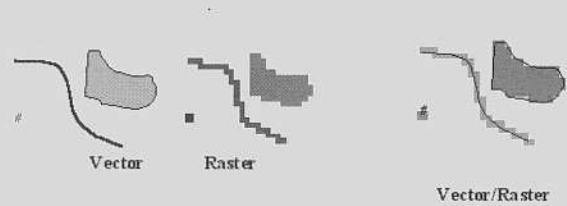


Figura 5. Representación de las capas de información en un SIG, todas ubicadas en el mismo sistema de coordenadas.

2.2.2. Los SIG y la Información Georreferenciada

Como se ha visto en los puntos anteriores es esencial para los SIG que los datos que se compilan sean georreferenciados, condición necesaria para que puedan ser comparados entre sí (Figura 5). Para un mejor entendimiento sobre esta condición de la geoinformación en los SIG y, de las diversas posibilidades y terminologías existentes, vale aclarar los siguientes términos basados en las definiciones de Erdas (1990):

a. **Rectificación:** es el proceso de reproyectar un documento (mapas o imágenes) a un plano, conforme a un sistema de proyección determinado.



Entidades espaciales: punto, línea y polígono

Figura 6. Representación de entidades espaciales en formato raster (celdas) y vectorial.

b. **Remuestreo:** Es el proceso de extrapolación de los valores sobre una nueva matriz de imagen a partir de los valores de los píxeles de la imagen original. Aquí se reproyecta y establece el tamaño de la matriz a producir por un proceso de remuestreo, se establece el tamaño de los píxeles de la nueva imagen generada en el proceso.

c. **Registro:** es el proceso de ajustar la geometría de un documento (mapa o imagen) conforme a otra. Esto sucede cuando se necesitan realizar comparaciones multitemporales (monitoreo). El proceso no necesariamente implica la utilización de un sistema de coordenadas determinado.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las representaciones vectorial y raster. (celdas)

Ventajas del formato vectorial	Ventajas del formato raster
1. Precisión similar al mapa original	1. Sistema simple
2. Estructura compacta, menor volumen de datos	2. Mayor facilidad para procesar los datos
3. Eficiente codificación	3. Mejor representación de alta variabilidad espacial
	4. Capacidad para almacenar imágenes digitales
Inconvenientes del formato vectorial	Inconvenientes del formato raster
1. Compleja estructura de datos	1. Necesita mayor capacidad de almacenamiento
2. Complejidad para combinar capas	2. Menor calidad de representación gráfica Precisión determinada por el tamaño de la celda (píxel)
3. Dificultad para representar alta variabilidad espacial	

d. Georreferenciación: es el proceso de asignar coordenadas de mapa a un documento (mapa o imagen). No necesariamente el original debe ser rectificado ya que puede estar proyectada en el plano deseado, pero carecer de las coordenadas cartográficas necesarias.

e. Datos geocodificados: son documentos que ya han sido rectificados a un sistema de proyección, en el caso de las imágenes, tienen un tamaño de pixel definido y pueden estar con correcciones radiométricas para incrementar la calidad visual.

3. Ejemplos en el Chaco santiaguense

Hasta aquí se mostraron las bases para la captación y seguimiento de sucesos como el fenómeno, que van desde la detección de "hot spots" hasta las áreas calcinadas y las denominadas cicatrices, todo lo cual puede además ser identificado y clasificado por medio de la PR.

A continuación se presentan distintos tipos de aplicación de la PR y los SIG, en el modelado del ambiente, específicamente el fenómeno del fuego, en lo referente a su detección, identificación, clasificación y análisis, en el espacio y en el tiempo

3.1 Distribución espacio temporal del fuego

Tan importante como saber la magnitud del efecto del fuego sobre las coberturas de la tierra, lo es el conocimiento de la distribución espacial y temporal de los mismos. Para el Chaco argentino, Adámoli (1993) sostiene que «*probablemente los aspectos espaciales del comportamiento del fuego sean uno de los temas en los que el conocimiento es más pobre. El conocimiento de los patrones espaciales permite una mejor definición acerca de la naturaleza y extensión de ciertas interacciones posteriores al paso del fuego*».

La utilización de datos satelitales con resoluciones temporales de 16 días como TM Landsat 5 y ETM+ Landsat 7 no permiten registrar el fenómeno del fuego con una frecuencia temporal adecuada, por ejemplo diariamente. De esta manera, para comprender la fenomenología del fuego a escala Provincial Santiago del Estero, se creó una base de datos de "hot-spots" a partir de archivos obtenidos a partir del sensor térmico ATSR. La información generada por el SIG, posteriormente puede ser comparada con otra proveniente de fuentes con diferentes resoluciones espaciales y espectrales, por ejemplo de los sensores ETM+ LANDSAT7 y MMRS SAC-C.

El sensor ATSR registra la superficie terrestre a través de 4 canales espectrales: 1.6, 3.7, 11.0 y

12 micrometros. La resolución espacial es de 1 km, el proyecto IONIA-FIRE utilizó dos algoritmos para la detección de focos de calor (Arino y Rosaz 1999):

- Algoritmo 1: registra un punto caliente cuando el canal de 3.7 mm detecta temperaturas > 312 Kelvin (> 39 °C), temperatura de saturación del sensor.

- Algoritmo 2: registra un punto caliente cuando el canal de 3.7 mm detecta temperaturas > 308 Kelvin (> 35 °C), temperatura de saturación del sensor.

Las posibilidades de medición dependen de la temperatura del fuego, pero el ATSR tiene una gran sensibilidad, capaz de detectar fuegos de 0,1 ha con temperaturas de 327 °C hasta 0,01 ha con temperaturas de 527 °C, y una temperatura del área circundante de 27 °C.

La Agencia Espacial Europea (ESA) mantiene una base de datos del proyecto IONIA-FIRE⁴ desde la cual se pueden transferir archivos con la posición de los focos de calor (hot-spots) captados por el sensor ATSR. Desde allí pueden obtenerse archivos en un formato especial que posteriormente pueden transformarse a otro específico para cualquier SIG. El procedimiento se resume en:

1. Transferencia directa entre el servidor del proyecto FIRE → usuario.
2. Importación de archivos de formato ASCII de FIRE → XLS (Excel)
3. Formato final en Excel → Exportación XLS (Excel) → DBF (Dbase)
4. Importación DBF → SHP en ArcView SIG
5. Análisis espacial y clasificación temporal en el SIG
6. Producción de cartografía

Mediante funciones del SIG se puede visualizar la distribución espacial de los focos de fuego, concentrados en regiones particulares de la Provincia, mayormente en la región este. Zerda (1999) propuso para tal agrupamiento la denominación de "arcos de fuego", al igual que la terminología utilizada para la región periférica del Amazonas brasileiro, abundante en fuegos. En la zona estudiada por este autor, se desarrollan actividades como la deforestación de grandes superficies para establecer nuevos cultivos agrícolas, quemándose biomasa proveniente del bosque original, pastizales y residuos agrícolas. Esta es la región con la mayor frecuencia de fuegos en la Provincia.

Una clasificación mensual de los datos permitió conocer las estadísticas del suceso fuego en

⁴ Ionia Fire Project: <http://shark1.esrin.esa.it/ionia/FIRE/>

la Provincia de Santiago del Estero, para los años citados. Las mayores frecuencias mensuales marcan la estación de quemados en la región, con máximos en los meses de julio y octubre, en 1997 y 1998 respectivamente (Figura 7).

Las ventajas y limitaciones del método son básicamente las del sistema ATSR:

Ventajas:

- Detección nocturna, no afectada por la reflexión solar
- Sin falsa alarma o error de comisión, mediante el Algoritmo 1
- Se analizan imágenes en posición casi-nadir, lo que produce menos problemas en relación al tamaño del píxel y bidireccionalidad de la señal que llega al sensor.
- La órbita sin variaciones del satélite ERS permite comparaciones año a año.
- Alta sensibilidad radiométrica que permite la detección de fuegos de pequeña extensión

Limitaciones:

- Superposición de algunos cuadros de imagen, por ello algunas veces pueden detectarse puntos repetidos
- Detección de superficies templadas (con el algoritmo 2)
- Existe una subestimación a nivel global del número de puntos calientes debido a la detección de fuegos que son activos durante la noche.

3.2 Modelos de distribución espacial del fuego

En el punto anterior se estudió la distribución espacial a nivel de la Provincia, mediante datos satelitales ATSR de una resolución espacial de 1 km x 1 km, pero ¿qué sucede cuando de necesita un mayor detalle?.

Zerda (1998) utilizó datos satelitales MSS LANDSAT de los años 1975, 1986 y 1992, y HRV

SPOT3 de 1994, para producir un mapa que reuniera las áreas calcinadas en estos períodos, de una región del NE de la Provincia de Santiago del Estero

Se crearon también mapas de caminos, puestos y pueblos a partir de imágenes satelitales TM LANDSAT 5, variables utilizadas para generar modelos cartográficos mediante en el SIG. Estos modelos siguen un principio básico de la Geografía: eventos cercanos están más relacionados entre sí que los lejanos. Para investigar la relación entre el fuego y tales variables, se realizaron análisis de distancias a las mismas.

Para encontrar una relación espacial entre el evento fuego y los caminos, puestos y pueblos, se compararon las capas temáticas resultantes de los respectivos análisis de distancias. De este procedimiento se obtuvieron las estadísticas de superficies y con ella la distribución acumulada de las áreas quemadas en función de las distancias a las diversas variables (Figura 8). La infraestructura vial, red de corredores por donde el hombre se moviliza y desarrolla sus actividades principales, fue la variable más relacionada espacialmente con el fenómeno fuego. El 90% de las superficies afectadas en el período estudiado se encontraban a distancias menores a 4.000 metros de los caminos.

Paralelamente, se produjeron mapas de coberturas y usos de la tierra del año 1975, mediante una clasificación automatizada de imágenes MSS LANDSAT 1, controlada mediante fotografías aéreas y mapas existentes de fechas muy próximas. Mediante la intersección de este mapa y el de áreas quemadas, se obtuvo nueva cartografía indicando el tipo de cobertura existente al comienzo del período investigado y las coberturas de la tierra que existían inicialmente en la zona.

El resultado del mapa obtenido mostró los tipos de coberturas existentes en 1975 en las áreas que luego fueron quemadas durante el período 1975-94. El modelo cartográfico mostró esta composición en proporciones del total:

$$Q_{75-94} = 0,23 \text{ Bd} + 0,37 \text{ Ba} + 0,21 \text{ Ar} + 0,089 \text{ ArPa} + 0,069 \text{ Pa} + 0,008 \text{ Ag} + 0,012 \text{ Pu} + 0,018 \text{ Qu}$$

Con: Q₇₅₋₉₄: áreas quemadas entre 1975-94; Bb: bosque denso; Ba: bosque abierto; Ar: arbustales; ArPa:

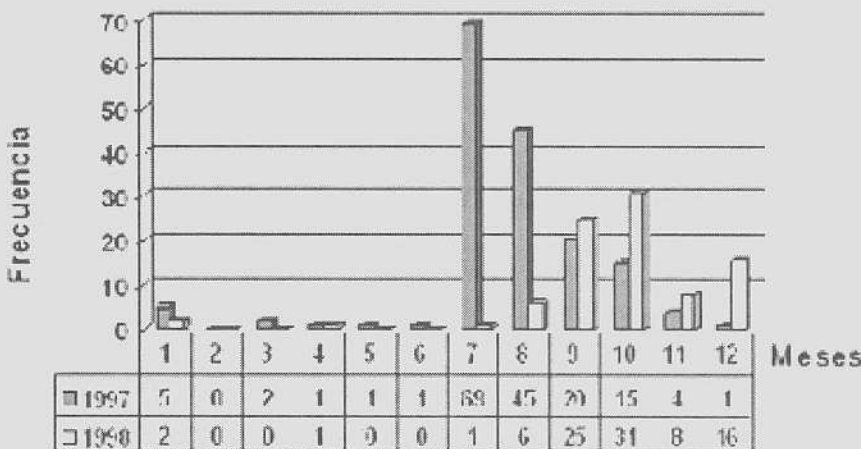


Figura 7. Estadísticas de la distribución mensual de focos de calor (fuegos) en los años 1997 y 1998 en la Provincia de Santiago del Estero.

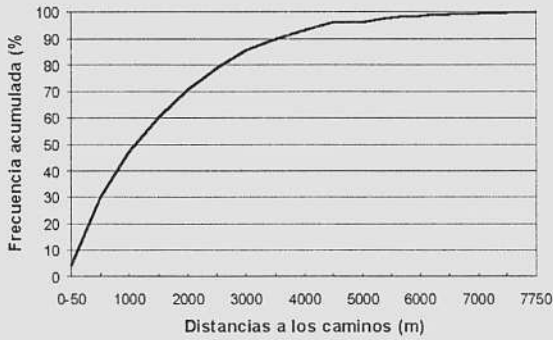


Figura 8. Distribución acumulada de las áreas quemadas en función de las distancias a la red vial, obtenidas mediante análisis en un SIG.

arbustales/pastizales; Ag: agricultura; Pu: pueblos; Qu: quemados.

Puede concluirse que los cambios debidos a las quemadas impactaron mayormente sobre coberturas boscosas (60%).

3.3 Cartografía de áreas quemadas mediante transformaciones de datos satelitales

Existen diversos métodos para la determinación de áreas calcinadas y cicatrices de fuego, como así también para la detección de focos de calor o "hot-spots", relacionados a los fuegos activos. Las metodologías varían desde la manipulación de los histogramas de frecuencia de bandas individuales, de índices de vegetación y otras transformaciones, los métodos de clasificación multivariada, transformaciones de componentes principales, redes neuronales y otros. Debido al objetivo y carácter de lectura inicial del presente texto, se mostrarán aquí experiencias desarrolladas en el Chaco santiagueño, el mayor ecosistema forestal de la Argentina.

El desarrollo de los índices de vegetación (IV) a través de datos satelitales surge como una necesidad para estimar cuantitativamente la vegetación de manera precisa, directa y a bajos costos. Los primeros índices de vegetación se construyeron a partir del cociente entre canales infrarrojo cercano/rojo del sensor Landsat-MSS.

El uso de diferencias entre canales espectrales que permitieron discriminar masas vegetales, se deriva del especial comportamiento de la vegetación frente a la energía electromagnética. La Figura 2 muestra como la vegetación refleja una menor porción de la EEM en la región visible, mientras que en la región del infrarrojo la reflexión es mucho mayor (Hoffer y Johannsen 1969). Esta es la razón por la cual la vegetación muestra un gran contraste espectral, expresado por la diferencia entre la baja y la alta reflexión en un canal rojo e infrarrojo cercano respectivamente. Cuanto mayor sea este contraste o dife-

rencia, mayor vigor tendrá la vegetación. Contrastes bajos indican menor vigor, mientras que coberturas sin vegetación presentan un contraste muy pequeño. En relación a los valores obtenidos como resultado de estas transformaciones, se mostrará que cuanto mayor sea el valor del índice de vegetación, mayor será el vigor de la vegetación y viceversa.

La relación entre los IV y las superficies calcinadas se debe a que estas áreas pueden detectarse por la ausencia de vegetación y, las cicatrices de fuego, debido a las alteraciones en la estructura y vitalidad.

Zerda y Moreira (2001) utilizando el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) derivado de datos ETM+ LANDSAT7 (bandas 3 y 4), produjeron mapas de la distribución espacial de superficies calcinadas. El nombre de normalizado se debe a que los valores originales de la transformación se ubican entre -1 a +1, con valores negativos para áreas sin vegetación y positivos para áreas con vegetación (Eastman, 1997). El NDVI se obtuvo mediante la siguiente transformación:

$$NDVI = (NDir - NDr) / (NDir + NDr)$$

donde: NDir = números digitales del canal infrarrojo,

NDR = números digitales del canal rojo.

En esta investigación se encontraron confusiones entre los valores de NDVI para áreas quemadas y las superficies de agua, lo que inicialmente dificultó su clasificación. Con el objeto de evitar la sobreestimación de superficies, se generó por digitalización en pantalla una máscara de los cuerpos de agua, lo que permitió mejorar la clasificación, al trabajarse solo con el área sin superficies de agua. Sin tratarse del caso de transformaciones mediante NDVI, Pereira (1997) cita el mismo inconveniente en otras investigaciones realizadas con datos de diversos sensores, e incluye dentro de esta problemática a áreas urbanas, sombras y algunos tipos de vegetación.

En la misma región, afectada por grandes incendios de bosques, Zerda (1998) utilizó la diferencia aritmética entre imágenes para un monitoreo entre los años 70 y 90. Este método se basa en el uso de imágenes de fechas diferentes, previamente rectificadas a una base cartográfica común. La detección de cambios entre dos fechas diferentes utiliza el método de substracción entre imágenes, restando los valores digitales (ND) de una matriz a otra. Se trata de una operación "píxel a píxel", cuyo resultado representa los cambios del paisaje ocurridos entre las fechas investigadas. Una visualización de tales cambios numéricos se observan sobre la transecta de la Figura 9, las zonas más oscuras

representan las áreas donde se ha eliminado el bosque por efecto del fuego.

Mayor información y detalles sobre los métodos para detectar cambios, sus requisitos, procedimientos, ventajas y desventajas, son comentados y descriptos de manera excelente en Jensen (1996).

3.4. Las formas del paisaje y la influencia del fuego

El término paisaje es definido por Forman y Godron (1986) como un área de terreno heterogénea, compuesta de un grupo de ecosistemas que interactúan, y que se repiten en forma similar a lo largo de esa superficie. Las diferentes coberturas de la tierra se encuentran distribuidas en un paisaje según un diseño que caracteriza la naturaleza de la región y los procesos que allí suceden. A su vez, estas coberturas están compuestas por unidades o fragmentos, que pueden estar más o menos alejados unos de otros, tener diferentes formas y tamaños, determinando con ello diversas relaciones entre sí. La estructura espacial de los bosques puede caracterizarse en parámetros estructurales como la forma, tamaño, número y ordenamiento espacial de los fragmentos de bosque.

Estos conceptos ayudan a la interpretación de procesos que como el fuego, pueden producir cambios estructurales en los paisajes. Tal es el caso de lo que sucede en ambientes del norte de la Provincia de Santiago del Estero, donde Zerda (1998) integrando la PR y los SIG, imágenes históricas MSS LANDSAT, analiza un ambiente dominado por el fuego, en el período 1975-92. Los principales cambios en la distribución espacial y las superficies de bosques pueden observarse en la Figura 10, a partir de índices estructurales simples, como:

1. La proporción de bosque en % de paisaje (PBP %)
2. Mayor fragmento de bosque en % del paisaje (MAB)

$$PBP\% = \frac{\sum_{j=1}^n s_j}{S} (100)$$

sj = superficie del fragmento j,
S = superficie del paisaje

$$MAB = \frac{Max(f_j)}{S} (100)$$

Max (fj) = máxima superficie del fragmento j

La pérdida de superficie forestal, la distribución espacial del bosque remanente en forma de islas y la notable disminución del tamaño de los fragmentos iniciales, muestran el gran cambio producido en la zona estudiada. El resultado de la acción del fuego es un ambiente estructuralmente muy diferente al inicial; situación que enmarcaría una serie de nuevas interrelaciones entre componentes como flora, fauna y hombre; indicadas por diversos autores en el marco de la ecología de paisajes (Ranney *et al.* 1981, Forman y Gordón 1986, Gergel y Turner 2002).

4. Reflexiones finales

No obstante la limitada cantidad y diversidad de los ejemplos mostrados hasta aquí, se hace evidente la gran potencialidad de aplicaciones que tiene la PR y los SIG para el estudio del fenómeno del fuego. Los desarrollos más actuales están muy relacionados a las tecnologías de la comunicación. En esta área, ya son una realidad los servidores de mapas de riesgo de incendios y detección y alarma automática (VTT 2003), imágenes multiespectrales diarias de gran parte del planeta y mapas globales de hot-spots (NASA 2003).

Australia, azotada en los últimos años por grandes incendios, ha implementado un sistema complementando a la PR y los SIG con diversas tecnologías de la comunicación, permitiendo acceder al instante y mediante Internet, a mapas sobre la presencia y distribución de focos de fuego (CSIRO 2003). Brasil, ha creado sus propios servidores de datos sobre el fuego, basado en imágenes AVHRR NOAA, permitiendo accesos diarios sobre hot-spots, toda la información puede ser desplegada en conjunto con otros diversos datos geográficos, en un verdadero SIG sobre el fuego en tiempo real (INPE 2003).

Diversas agencias espaciales continúan las investigaciones para el desarrollo de nuevos sistemas sensores que permitan mejorar los niveles de detección y clasificación de diversos fenómenos, entre ellos el fuego. En la Argentina, la Comisión Nacional de

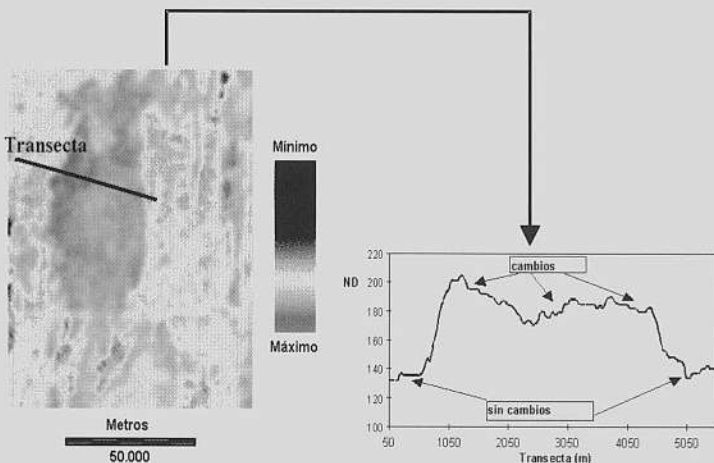
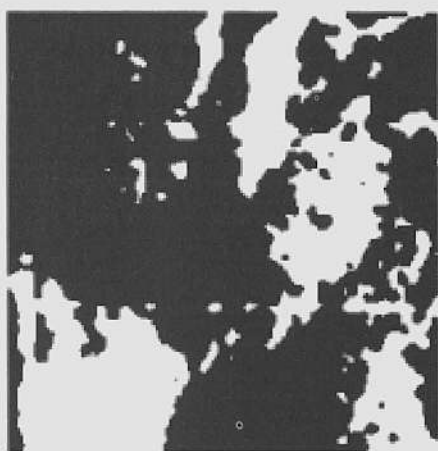
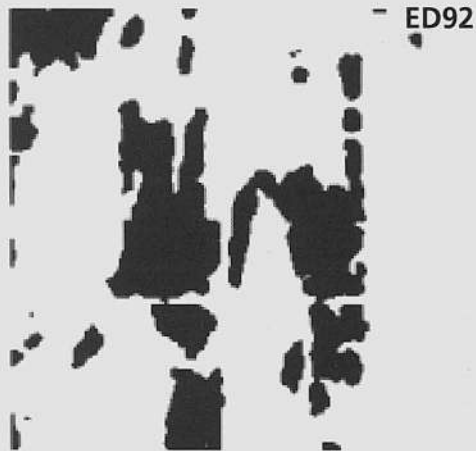


Figura 9. Imagen diferencia entre canales infrarrojos de imágenes MSS LANDSAT de 1975 y 1992.



Año 1975: PBP%= 65 MAB= 62



Año 1992: PBP%= 23 MAB= 8

Figura 10. La cobertura de bosques (en negro), mostrando los cambios en la distribución espacial por efecto del fuego, período 1975-92.

Investigaciones Espaciales (CONAE) realiza un gran aporte a través del programa de satélites SAC y la promoción de proyectos de investigación asociados. El satélite SAC-C y sus diversos instrumentos, brindan grandes posibilidades para el estudio del fuego. A las destacadas capacidades técnicas de este sistema, deben sumarse las excelentes condiciones de distribución de datos y la promoción de su utilización; aspectos fundamentales para el desarrollo de las actividades de percepción remota en el país.

Por último y no de menor importancia, debe ser la incorporación de la PR y los SIG en el ámbito académico, actualmente apoyado por la CONAE en el ámbito escolar inicial. En esto, las universidades deben cumplir un papel fundamental, facilitando la difusión, utilización y desarrollo, por medio de una eficiente incorporación curricular de estas nuevas disciplinas; lo que permitirá a la sociedad una plena comprensión de los usos posibles.

5. Bibliografía

- Adámoli J. 1993. Análisis ecológico del fuego a escalas regional y local. En Memorias del Seminario Taller: Ecología y Manejo de Fuego en Ecosistemas Naturales y Modificados. SAGyP, INTA EEA Santiago del Estero, 2-4 junio, Santiago del Estero, Argentina.
- Arino O. y J. Rosaz. 1999. 1997 World Fire Atlas with AVHRR and ATSR. Proceedings of the IUFRO Conference on Remote Sensing and Forest Monitoring, Rogow, Polonia.
- Berry B. 1964. Approaches to regional analysis: A Synthesis. *Annals of the Association of American Geographers*. 54:2-11.
- Buzai G. 1999. Geografía Global. El paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del mundo del siglo XXI. Lugar Editorial, Bs. As., Argentina, 216 p.
- Ciela W. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudio FAO Montes 126, Roma 1996, 146 p.
- Chuvieco E. 1996. Fundamentos de Teledetección Espacial, 3° Edic., RIALP SA, Madrid, España, 568 p.
- CSIRO 2003. Sentinel-Hot Spots. Sentinel Fire Mapping. Commonwealth Scientific & Industrial Research Organisation, Australia. En: <http://www.sentinel.csiro.au/sentinel.html>
- Eastman J. 2001. Guide to GIS and Image Processing, Vol 1. Idrisi 32 Rel. 2. Manual v. 32.20, Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, USA, 144 p.
- Erdas 1990. Field Guide. Erdas Inc., Atlanta, USA, 410 p.
- Forman M. y M. Godron. 1986. Principles and methods in landscape ecology. John Wiley & Sons, New York, 619 p.
- Gergel S. y M. Turner. (Eds.) 2002. Learning landscape ecology: a practical guide to concepts and techniques. Springer Verlag, New York, 316 p.
- Hoffer R. y C. Johannsen. 1969. Ecological potential in spectral signature analysis. In: Remote sensing in ecology, Univ. of Georgia Press, Athens Georgia, 1-16.
- INPE 2003. Queimadas. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil. En: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>
- Jensen J. 1996. Introductory digital image processing. A remote sensing perspective. Second edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 379 p.
- NASA 2003. Near-Real-Time MODIS. Land Rapid Response System. En: <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime/>
- NCGIA 1990. Core curriculum. Vol. I. Introduction to GIS, National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara, California, USA.
- Pereira J. 1997. Remote sensing of burned areas: A review. En: E. Chuvieco (Editor) A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. Megafires Project ENV-CT96-0256. Depto. de Geografía, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España.
- Pereira J. 1999. Spectral characterisation and discrimination of burnt areas. En: E. Chuvieco, Ed. "Remote Sensing of Large Wildfire in the European Mediterranean Basin", Springer, Germany, 212 p.
- Ranney J. M. Bruner y J. Levenson. 1981. The importance of edge in the structure and dynamics of forest islands. En: Burges, R. y Sharpe, D. (Eds.), Forest islands dynamics in man-dominated landscapes. Springer Verlag, New York, 67-95.
- VTT 2003 Forest Fire Alert System. VTT Technical Research Centre of Finland. En: <http://www.vtt.fi/tte/research/tte1/tte14/proj/FF-Operat/>
- Zerda H. 1998. Monitoring der Vegetations- und Landnutzungsveränderungen durch Brandrodung und Übernutzung im Trocken-Chaco Argentinien mit Satellitenfernerkundung und GIS. Dissertation, Cuvillier Verlag, Göttingen, Alemania, 175 p.
- Zerda H. 1999. La Degradación de los Bosques Secos del Chaco Argentino. IUFRO News en español, Investigación Forestal en Acción, IUFRO, Vol. 9, No. 1.
- Zerda H. y M. Moreira. 2001. Superficies afectadas por el fuego en el Chaco Santiagueño: Evaluación mediante percepción remota y sistemas de información georreferenciada. Revista de la SECYT, Universidad Católica de Santiago del Estero, N° 6.
- Zerda H. 2003. Percepción Remota y SIG en Ingeniería Forestal. Incendios en el Chaco. En: <http://www.geocities.com/hzerda/chacoinc/chacoinc.htm>

El manejo del fuego en la política ambiental

Carlos Merenson¹



Quema de caña de azúcar previa a cosecha Foto: J. L. Panigatti

¹ Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, e-mail: cmerenson@medioambiente.gov.ar

El fuego es una de los elementos de la naturaleza que más ha contribuido en el progreso de la humanidad. Lograr controlarlo le permitió al hombre contar con una fuente de calor y energía inapreciable que cambió radicalmente la relación del mismo con su entorno. Sin el fuego mucha de las cosas que hoy consideramos básicas para nuestra vida no serían posibles. Desde la cocción de nuestros alimentos hasta el funcionamiento de grandes máquinas, o desde la calefacción de nuestros hogares hasta la fundición de los metales, el fuego ha sido y es la fuente primaria de energía de la que se valió el hombre para su desarrollo. De igual forma, al evolucionar las actividades agrícolas, el hombre se aprovechó del fuego para realizar tareas de desmonte, renovación de pasturas, limpieza de desechos forestales, etc., logrando de esta manera, en principio y sin entrar en análisis profundos, mayor eficiencia en el trabajo. En muchos aspectos, el hombre a logrado controlar el fuego para utilizar así su energía en pos de una mejor calidad de vida.

Analícemos ahora otra visión del fuego, esta vez como elemento básico de la naturaleza y parte integrante de los distintos ecosistemas que conforman nuestro planeta. Muchos de ellos poseen una relación antigua y natural con el fuego. Los incendios se han producido en ellos desde el principio de los tiempos, iniciados por tormentas eléctricas u otras causas naturales. Los fuegos han sido y serán un actor clave en el desarrollo de ecosistemas que los necesitan como catalizadores para la renovación de sus individuos y para la selección de sus especies preponderantes.

Pero muchos otros ecosistemas no han sufrido naturalmente al fuego como fuerza de cambio, sino que fue el hombre el que lo introdujo en ellos, modificando totalmente el equilibrio natural de los mismos. En estos casos, el fuego se convierte en un peligro potencial que puede generar grandes pérdidas ecológicas y ambientales. Los incendios forestales/rurales pueden cambiar la fisonomía de un ambiente de la noche a la mañana destruyendo así el hábitat de muchas especies. Lo mismo sucede en aquellas zonas de interfase entre lo rural y lo urbano, donde viviendas y edificios se entremezclan con el ámbito natural. Un incendio en estas zonas, aun proviniendo de causas naturales, puede generar grandes pérdidas ambientales, económicas, sociales y hasta poner en riesgo las vidas de los habitantes del lugar.

Estos ejemplos nos permiten recordar que el fuego, como cualquier otro elemento de la naturaleza, debe ser manejado en un marco de

racionalidad que contemple los costos y beneficios de cada decisión, tanto en lo que se refiere a los aspectos ambientales, como económicos y sociales. El fuego no representa un elemento destructivo per se, ya que, en muchas ocasiones, dependiendo del manejo que se haga de él, puede generarse vida o renovarse ecosistemas.

Pero el accionar del hombre no siempre es racional, y muchas veces no considera el delicado equilibrio de los sistemas ecológicos. En muchos casos, el fuego es utilizado como un elemento de manejo de áreas productivas sin tomar en cuenta las consecuencias perjudiciales sobre el suelo, la flora, la fauna, el aire, las cuencas imbríferas, etc.

En este marco, ¿Cuál es la posición que el estado debe tomar con respecto a las estrategias que guíen su accionar en lo que a manejo del fuego se refiere? O lo que es lo mismo, ¿cómo incorporar al manejo del fuego en la política ambiental?

Desde la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS), que tiene como responsabilidad primaria el desarrollo de instrumentos e implementación de la sustentabilidad social, económica y ecológica con estrategias a nivel regional, y en cumplimiento de la Ley N°13273 de Defensa de la Riqueza Forestal (D.T.O. 710/95), hemos procurado dotar a nuestro país de una política de estado en lo que se refiere al manejo del fuego acorde a las circunstancias. Esta política se basa en la protección de nuestros ecosistemas, buscando de esta forma resguardar las vidas humanas involucradas, evitar la pérdida de calidad ambiental de los asentamientos humanos y proteger los recursos naturales, económicos y sociales en riesgo.

Desde el punto de vista ambiental, las acciones del estado deben estar guiadas por el concepto de preservación y cuidado de los sistemas naturales, proponiendo y ejecutando políticas y programas para conservación, recuperación, protección y uso sustentable de la flora y fauna silvestre y de las masas forestales nativas, en forma coordinada con entes públicos o privados competentes en la materia. Esto no implica dejar de lado el uso del fuego como herramienta, pero sí el establecimiento de reglas claras sobre bases científicas, la aceptación de estas por parte de los actores comprometidos, tanto estatales como privados, y estricta coordinación. El fuego resulta, en muchos casos, el mecanismo indicado económica y ambientalmente amigable. Pero para ello deben estudiarse acabadamente las características del ecosistema, como así también el efecto del fuego sobre el mismo. A su vez, el uso del

fuego como herramienta agrícola/forestal representa una gran responsabilidad para el productor, pues deben considerarse muchos recaudos para lograr el objetivo previamente buscado, sin provocar en el intento un incendio rural descontrolado que generará, no solo costos ambientales y económicos, sino también gastos a los organismos encargados de la supresión.

En la República Argentina más del 95% de los incendios rurales tienen como origen al hombre, ya sea a partir de acciones intencionales o de la negligencia en el uso del fuego. En este contexto surge como primordial el accionar del estado tanto provincial como nacional rigiendo sobre la prevención y la supresión de los fuegos no deseados. De esta manera, se refuerza la idea de conservación como centro de una política ambiental en lo que a manejo del fuego se refiere.

En Nuestro país la existencia de un esquema de organización federal delega en las provincias la responsabilidad primaria y directa de la protección de los recursos naturales (excepto en el caso de los parques nacionales). Según la Constitución Nacional, art. 124: "...Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio", y por ende su protección. El Estado Nacional, a su vez, tiene como obligación colaborar, asistir y coordinar este accionar provincial, persiguiendo como objetivo último el bienestar general. Para ello, la SAyDS creó en el año 1996 el Plan Nacional de Manejo del Fuego (PNMF), cuya misión principal es la de establecer un sistema federal de coordinación y asistencia frente a incendios forestales.

De esta forma se intenta apoyar e impulsar el desarrollo de estructuras provinciales de gestión del fuego, tanto en lo que se refiere a la supresión de incendios rurales como en lo que atañe a la regulación del uso del fuego como herramienta agrícola/forestal. Esta decisión estratégica se basa en las distintas características que posee nuestro país en lo referido al fuego. Tanto las causas como el comportamiento de los incendios difiere según cual sea la región considerada. A su vez, la relación del hombre con el fuego posee características propias de las distintas zonas, alimentadas por cuestiones históricas y sociales diversas. Cada región de nuestro país ha tenido un acercamiento distinto al uso del fuego según sus realidades y condicionantes.

En este marco, resulta importante considerar estas diferencias en el armado de las políticas de prevención, de supresión y de regulación del uso del fuego. Por ello, al objetivo inicial de preser-

vación deben sumárseles estas restricciones referidas a los usos y costumbres locales, para de esta forma encontrar estrategias que equilibren lo ambiental y lo social.

Con esto en mente, el PNMF colabora con los responsables jurisdiccionales en búsqueda del desarrollo de políticas sustentables en lo que a manejo del fuego se refiere, considerando y respetando los condicionantes locales. Lo mismo sucede con la reglamentación del uso del fuego, la cual depende de los estados provinciales y de la Administración de Parques Nacionales (APN). El objetivo final es lograr un equilibrio que permita obtener los beneficios del fuego como herramienta, pero sin perjudicar con ello al ecosistema natural.

Para ello, el PNMF realiza distintas actividades de apoyo, destacándose entre ellas: transferencia de fondos para la contratación de brigadistas forestales; provisión de equipamiento específico; capacitación de personal, tanto de organizaciones estatales como de ONGs y privadas; contratación y conducción operativa de helicópteros y de aviones hidrantes y de transporte; desarrollo de proyectos de colaboración y transferencia tecnológica con organismos externos; apoyo a la investigación y a actividades de prevención; asesoramientos; etc.

De esta manera, por ejemplo, se asegura la disponibilidad de células básicas de supresión a partir de la contratación de una brigada equipada y entrenada por el PNMF en cada provincia. A su vez, se procura brindar elementos que no estarían a disposición de cada estado provincial, en particular por cuestiones de escala económica y práctica como es el caso de los medios aéreos y de los proyectos de colaboración internacional e investigación, contribuyendo de este modo a hacer más eficiente el uso de los recursos invertidos en estas áreas.

Por otro lado, el PNMF funciona como un ente coordinador en lo referente a la determinación de estándares de capacitación y seguridad en la línea de fuego, mejorando de esta forma las condiciones de trabajo de todo el personal involucrado en la supresión de incendios forestales.

En lo referente al uso del fuego como herramienta de prevención, el PNMF colabora con los planes de quema de muchas provincias de nuestro país, procurando de esta manera apoyar proyectos locales de manejo de combustible y disminuir el peligro de incendios en las áreas comprometidas.

ESTA OBRA SE TERMINO DE IMPRIMIR
EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES EN
EL MES DE NOVIEMBRE DE 2003 EN LA
IMPRESA DEL CONGRESO DE LA NACION.

El Proyecto Nacional de INTA

DESARROLLO SUSTENTABLE EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS PARA PREVENIR Y CONTROLAR LA DESERTIFICACIÓN

planteó la idea de agrupar y sintetizar la información
que aquí se presenta, estimuló y acompañó su elaboración
y contribuyó con la financiación de su edición.

Buenos Aires, Setiembre de 2003.



EL FUTURO IMAGINANDO EL PASADO Dibujo: Francisco Fioramonti (6 años - 2003)



EDICIONES INTA

Departamento de Comunicaciones
Chile 460 2° piso C.P. 1098 Bs. As.
Copyright INTA, Setiembre de 2003
Tirada: 1.000 ejemplares

El público en general toma a los incendios o la quema de la vegetación como una catástrofe o, por lo menos, algo muy negativo. Los profesionales no involucrados en el tema "Fuego prescripto" pueden tener justificadas dudas sobre las secuelas de las quemas naturales y les puede faltar información sobre el uso planificado del fuego.

Esta obra analiza el fuego bajo dos diferentes enfoques: el de disturbio y el de herramienta de manejo. Parte de una revisión histórica de su recurrencia y origen y arriba al análisis de su uso potencial para el manejo de áreas naturales y aquellas sujetas a actividades productivas.

Cada capítulo enfoca la problemática del fuego desde una contribución teórica y da pautas para su aplicación práctica en diferentes ecosistemas argentinos.

La riqueza del contenido también se basa en su aporte histórico, el fundamento teórico y las posibilidades de su uso acotado, o metodología, para mejorar la cantidad y calidad de la producción en forma económica. Esto le otorga un valor particular a esta obra y, además, en ella se puede encontrar información referida al fuego y la vegetación de los bosques o las pasturas naturales, desde el sur de Patagonia hasta el norte de la Región Chaqueña.

Es de destacar también que este libro ofrece interesante información sobre la normativa comparada relativa al uso del fuego, los incendios en los Parques Nacionales y la opinión del área de máxima responsabilidad política en lo relacionado a fuego a nivel nacional.

Ing. Agr. José L. Panigatti (Ph.D.)
INTA-Coordinador Proyecto Nacional
Control de Desertificación

ISBN 987-521-084-6



INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA
Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero