

Comportamiento del fuego en un pastizal del sitio ecológico 'media loma', región chaqueña occidental (Argentina)

KUNST, C.¹; LEDESMA, R.¹; BRAVO, S.²; DEFOSSÉ, G.³; GODOY, J.¹; NAVARRETE, V.¹

RESUMEN

El comportamiento del fuego es uno de los componentes de la ecología del fenómeno y su caracterización es necesaria para su manejo y control. El objetivo de este trabajo fue caracterizar el comportamiento del fuego en un pastizal ubicado en el sitio ecológico 'media loma' ubicado en el Campo Experimental 'La María', INTA EEA Santiago del Estero (28° 03' S 64° 15' E) en una posición intermedia del paisaje, entre el bosque de dos quebrachos y la sabana. El fuego se aplicó en seis parcelas de dos sitios de estudio, estimándose la composición botánica, la carga de combustible fino y la densidad aparente del combustible en función de la altura en cada una de ellas. El comportamiento del fuego se caracterizó mediante la estimación de la velocidad de avance del frente de fuego y la longitud de llamas. Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de la varianza empleando 'sitio de estudio' como variable independiente. Las correlaciones entre variables fueron evaluadas mediante el coeficiente de correlación de Kendall (τ). Aunque ubicados en un mismo sitio ecológico, los sitios de estudio presentaron dominancia diferencial de dos especies nativas, *Trichloris pluriflora* (E.) Fournier y *Pappophorum pappipherum* (Lam.) Kuntze. Las dos especies poseen diferente proporción de tallo y hoja en su biomasa aérea, diferencia que se reflejó en la carga de combustible fino y su densidad aparente ($p > F = 0,0001$ en ambos casos) y en la velocidad de avance del frente de fuego ($p > F = 0,0001$). Esta última fue de $28 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ en el sitio de estudio 1, con dominancia de la primera especie; y $21 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ en el sitio de estudio 2, con dominancia de la segunda, respectivamente. La longitud de llamas promedio fue de 3,5 m, pero superó los 6 m cuando participaron en la propagación del fuego especies arbustivas que poseen aceites esenciales y resinas en su follaje. Se observó correlación positiva y significativa ($p < 0,0001$) entre velocidad de avance, carga de combustible y densidad aparente, pero la misma no fue significativa entre las dos primeras variables y la longitud de llamas. Los fuegos en la comunidad estudiada fueron de alta intensidad y muy rápidos, requiriendo de cortafuegos y/o medidas indirectas para su control y manejo.

Palabras clave: régimen de fuego, región Chaqueña, fuego prescripto.

ABSTRACT

Fire behavior, considered a part of fire ecology, is together with fire prevention one of the two components of the 'fire triangle' currently used as a basis for fire management and control. We assessed the fire behavior in a grassland located in the midland range ecological site in the Chaco region, northwestern Argentina. The site of the experiments was the 'La María' Experimental ranch, INTA Santiago del Estero Research Station,

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero, Jujuy 850, Santiago del Estero, G4200CQR, Argentina. Correos electrónicos: ckunst@santiago.inta.gov.ar, rledesma@santiago.inta.gov.ar

²Universidad Nacional de Santiago del Estero, Botany Chair, Faculty of Forestry, Av. Belgrano (S) 1912, Santiago del Estero, Argentina.

³Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) y Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Sede Esquel, Esquel, Chubut. gdefosse@ciefap.org.ar

Recibido 11 de febrero de 2011 // Aceptado 27 de diciembre de 2011 // Publicado online 29 de febrero de 2012

(28° 03' S 64° 15' E). Fire was applied in two study sites in 6 plots each. Fine fuel load, botanical composition, and fine fuel bulk density were estimated by sampling. Fire behavior was assessed by estimating forward rate of spread and flame length. These data were analysed using ANOVA with study site as independent variable. Correlation among variables was assessed using the Kendall's τ correlation coefficient. Study sites presented a different botanical composition: plots were either dominated by *Trichloris pluriflora* (E.) Fournier, or by *Pappophorum pappipherum* (Lam.) Kuntze. Plant of these species possess different proportion of stems and leaves. These facts significantly affected fine fuel load, bulk density ($p > F = 0,0001$ in both cases) and the forward rate of spread ($p > F = 0,0001$). The latter was $27,62 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ in study site 1, where the first species dominated; and $21 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ in study site 2, where the second dominated, respectively. Average flame length was 3,5 m, but reached 6 m when volatile shrubs ignited and participated in the propagation of fire. Correlations among forward rate of spread and fuel load with bulk density was positive and significant ($p < 0,0001$), but was not significant in the case of flame length. Fires were of high intensity and move fast and need blacklines or other indirect measures for control.

Keywords: fire behavior, Chaco region, fire regime, prescribed fire.

INTRODUCCIÓN

La región chaqueña es un bioma ubicado en el norte de la Argentina y países limítrofes (Morello y Adamoli, 1968; Bucher, 1982). Su vegetación es un mosaico de bosques, arbustales y sabanas (Morello y Adamoli, 1968; Bucher, 1982). El fuego fue utilizado históricamente por los aborígenes de la región para la guerra, caza y otros propósitos (Jacques, 1858; Castro Boedo, 1873, citado por Morello, 1970; Bucher 1982). Posteriormente, el fuego fue —y es empleado por ganaderos y agricultores para manejo de pasturas naturales con fines productivos y para aclareo de la vegetación (Hieronymus, 1874; Bordón, 1993). El fuego usualmente comienza en las sabanas y pastizales debido a la disponibilidad de combustible fino en cantidad, y en condiciones climáticas extremas (baja humedad relativa del aire y vientos de alta velocidad) puede propagarse en forma de fuego de copa a los arbustales y bosques (Tortorelli, 1947; Bravo *et al.*, 2001). A pesar de su omnipresencia en la región chaqueña, no existe aún información que permita inferir que el ecosistema chaqueño haya evolucionado con el mismo. Hacen falta estudios sobre la ecología de las especies nativas y su interacción con el fuego para dilucidar esta cuestión.

El enfoque moderno del manejo de fuego considera un 'triángulo' con tres componentes: ecología, prevención y aspectos culturales/sociales relacionados con el fuego (FAO, 2006; Myers, 2008; Silva *et al.*, 2010). Su comportamiento (velocidad de propagación o avance, longitud de llama, etc.) asociado a un modelo de combustible particular (~ tipo de vegetación) es un elemento integrante del régimen de fuego de una región (Agee 1993, Glitzenstein *et al.* 1995, Hély *et al.* 2003). Es también una información básica necesaria para poder predecir el efecto del fuego sobre el ecosistema (ecología), y para seleccionar las prácticas y herramientas de control de fuegos indeseables (prevención).

De acuerdo a Kunst *et al.* (2006) se presentan en la región chaqueña tres ambientes o sitios ecológicos (escala >

1:50000): el 'alto' con bosque de dos quebrachos, la 'media loma' con parques; y el 'bajo' con sabanas, donde *Eliodoris muticus* (Spreng.) O. Kuntze (pasto aibe, espartillo amargo) es la especie dominante. El régimen de fuego y su efecto sobre la dinámica de la vegetación de las sabanas han sido descriptos por Renolfi (1993), Bravo *et al.* (2001, 2010) y Kunst *et al.* (2001, 2003). La intensidad del frente de fuego, longitud de llamas y velocidad de avance registradas por estos autores son similares a las informadas por Cheney y Gould (1993), Cheney *et al.* (1995) y Streeks *et al.* (2008) para pastizales y sabanas de Australia y Texas (EEUU). Falta información sobre el comportamiento de fuego en los otros dos tipos de vegetación del Chaco, el bosque y el parque.

El objetivo específico de este trabajo fue describir el comportamiento del fuego en un pastizal/parque con estrato herbáceo dominante ubicado en el sitio ecológico 'media loma' de la región chaqueña y analizar algunos de los factores de la vegetación que lo influyen. Un conocimiento en detalle del comportamiento del fuego es muy importante ya que permite predecir sus efectos sobre el ecosistema. Por otra parte, esta información también es útil para generar 'modelos de combustible' propios de cada región y país, mejorando así la gestión de fuego en general (Belgili y Saglam, 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo de campo se realizó en el Campo Experimental 'La María', Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Santiago del Estero, Argentina (28° 3' S and 64° 15' W). El clima es semiárido-subtropical. Los inviernos son fríos y secos, y los veranos calientes y lluviosos (Boletta, 1988). La precipitación media anual es 574 mm que caen de noviembre a mayo (Estación Meteorológica, serie 1990-2008,

Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero, desviación standard 208 mm; C.V 36%; intervalo de confianza de la media 519.88 – 618.11 mm. año⁻¹, serie 1936-2005). Debido a las características climáticas, el fuego tiene una estacionalidad intrínseca en la región chaqueña: la temporada de incendios se inicia en junio, al comienzo de la estación fría y seca; y finaliza en octubre, con las primeras lluvias (Kunst *et al.*, 2003). El combustible fino se acumula en las sabanas y pastizales en el verano y otoño temprano, y está en condiciones apropiadas para la quema prescrita o accidental (incendios) entre mediados-fines de invierno y principios de primavera (Bravo *et al.*, 2001).

Un fuego que se inicie en la sabana puede propagarse al ecotono y de allí al bosque, si existe continuidad de combustible fino a lo largo de estos sitios ecológicos. Si se desarrolla un 'fuego de copa' que elimina la estructura aérea de los árboles y arbustos, las especies componentes del pastizal de ecotono 'entran' en el bosque, creándose así un 'pastizal de quemado' (Morello y Saravia Toledo, 1958), con una composición botánica similar al pastizal de media loma. Las principales especies que propagan el fuego en el ecotono y en los 'quemados' son pastos nativos de altura > 0,50 m especialmente *Trichloris pluriflora* (E.) Fournier y *Pappophorum pappipherum* (Lam.) Kuntze. Individuos de especies arbustivas nativas, tales como *Aloysia* spp, *Lippia turbinata* Griseb. (poleo) y *Schinus* spp. (molle), cuyo follaje posee aceites esenciales volátiles y resinas (Nuñez *et al.*, 2006; Moriconi *et al.*, 2009; Australian Weeds and Livestock, 2011), están presentes en sitio ecológico 'media loma' y pueden contribuir o no al comportamiento y a la propagación del fuego, de acuerdo a las circunstancias meteorológicas, a la carga de combustible y/o a la técnica de ignición utilizada (Wright y Bailey 1982).

Trabajo de campo

Durante la temporada de fuego 2007, dos sitios de estudio ubicados en el sitio ecológico media loma fueron seleccionados en base a imágenes remotas y recorridas del Campo Experimental. En cada sitio de estudio, se aplicó fuego en forma consecutiva a 6 parcelas cada una de tamaño 30 m x 30 m para evaluar su comportamiento. El tamaño de las parcelas se corresponde con el ancho del tipo de vegetación estudiado y a la facilidad de construcción de cortafuegos.

Carga de combustible (C). La cantidad de combustible se evaluó mediante muestreo al azar en cada parcela, con n = 6 marcos de superficie = 0,25 m², identificándose las especies de Poáceas presentes. Las especies se determinaron por comparación con ejemplares depositados en el herbario de la EEA Santiago del Estero del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. La nomenclatura de especies de gramíneas se basó en Ragonese (1951) y Burkart (1969) y fue actualizada según el Catálogo de Plantas Vasculares de la República Argentina (Instituto de Botánica Darwinion, 2011). Estos datos se emplearon para estimar la composición botánica a nivel parcela. La biomasa aérea de las gramíneas presentes en cada marco se cosechó el día previo

a la quema hasta una altura de 2 cm sobre el suelo y se clasificó en combustible en pie (biomasa aérea) y mantillo. El combustible en pie se cortó y separó a mano considerando 3 estratos de altura (Alt): 0-0,25 m, 0,25-0,50 m y 0,51-0,75 m. Las muestras fueron identificadas convenientemente y conservadas en bolsas de papel, secadas en estufa durante 48 hs a 60 °C y posteriormente pesadas en una balanza con precisión 0,1 gr. La carga de combustible por parcela se expresó en kg de materia seca por ha⁻¹ (kg MS*ha⁻¹) total y por estrato. La cantidad de combustible seco en pie (S) en cada marco se estimó visualmente, en porcentaje por dos observadores independientes.

Datos meteorológicos

En cada quema se registró la humedad relativa del aire (HR, %), la temperatura del aire (T, °C) y la velocidad del viento (VV, km*h⁻¹) a 1,5 m del suelo empleando una estación meteorológica digital Kestrel modelo 6000. Estos datos se registraron para evaluar si la quema se encontraba dentro de la 'ventana de prescripción'. Esta se define como el rango de condiciones -especialmente climáticas- para asegurar que el fuego se propague en un marco de seguridad. En este estudio se emplearon como prescripciones de referencia las desarrolladas por Britton *et al.* (1986) y Trollope (1984a y 1984b).

Técnicas de ignición

Debido a que la investigación estuvo orientada hacia el uso del fuego prescrito, se evaluó el comportamiento de un fuego frontal, es decir el que se propaga a favor del viento (Trollope, 1984b). Se emplearon antorchas de goteo que se emplearon para la ignición, a barlovento de las parcelas, en forma perpendicular a la dirección del viento dominante, generalmente N-NE.

Densidad aparente de combustible (DA)

Se estimó a través la relación entre la carga de combustible expresada en kg MS*m⁻² y altura de estrato, expresándose en kg MS*m⁻³.

Estimación y descripción del comportamiento del fuego

El comportamiento de fuego en un tipo de vegetación específico (≈ modelo de combustible) puede caracterizarse mediante distintos enfoques: describiendo el clima y/o circunstancias climáticas, topografía y combustibles (Agee, 1993; De Bano *et al.*, 1998); las especies que contribuyen a la propagación del fuego, la velocidad de propagación, cantidad de combustible consumido, y/o la energía/calor liberados (Encyclopedia of Southern Fire Science, 2009). En este estudio el comportamiento de fuego se analizó teniendo en cuenta las circunstancias climáticas, la descripción y carga de combustibles y su contenido de humedad, la energía y/o calor emitido y la velocidad de avance del fren-

te de fuego. La metodología para describir y cuantificar las circunstancias climáticas fue especificada en los párrafos anteriores. La descripción de los combustibles se realizó a través del muestreo de campo. La cantidad de energía/calor emitidos se estimó observando la longitud de llama (L , m) por dos observadores independientes y se promedió (Ryan y Noste, 1985). A mayor longitud de llamas, mayor liberación de energía y mayor intensidad del frente de fuego (Alexander, 1982; Ryan y Noste, 1985). La intensidad del fuego está asociada también a la cantidad de calor por unidad de carga de combustible y a la velocidad de avance del frente de fuego (Alexander, 1982; Agee, 1993). La velocidad media de avance del frente de fuego (VA , $m \cdot min^{-1}$) se calculó como la relación entre la distancia recorrida por el frente de fuego y el tiempo requerido para ese traslado (fórmula 1):

$$VA = D / (t_0 - t_1) \quad [1]$$

Donde D (m) = lado o diagonal de la parcela observada en m , t_0 (seg), el tiempo al comienzo del fuego y t_1 (seg) el tiempo acumulado cuando el frente de fuego llegó al final de la parcela. Fuegos residuales no se tuvieron en cuenta para este cálculo. El tiempo se estimó con un cronómetro de mano, con una precisión 1/10 segundos. El consumo de combustible fue estimado visualmente, siguiendo las sugerencias de Ryan y Noste (1985) para estimar severidad de fuego.

Análisis estadístico

Las medias, desviaciones standards y otros atributos estadísticos de los datos climáticos, del combustible y del comportamiento de fuego se emplearon para resumir la información obtenida. Se efectuó un análisis de la varianza empleando carga de combustible, densidad aparente y velocidad de avance como variables dependientes y 'Sitio de estudio' como variable independiente. Esta última representa la variabilidad intrínseca dentro del sitio ecológico 'media loma', que incluyen diferencias en la estructura comunitaria, ej. la contribución de las distintas especies de gramíneas en la frecuencia relativa (Casillo, 2009; Casillo *et al.*, 2011). Las relaciones entre DA , L y VA se evaluaron mediante análisis de varianza y correlación, esta última empleando el coeficiente de correlación de Kendall (τ). Los test t de Student y Duncan se emplearon para comparación de medias. Los cálculos matemáticos se realizaron con los PROC MEANS, CORR, REG y GLM del paquete estadístico SAS (SAS 2002). Se empleó un $\alpha = 0.05$ para los análisis estadísticos.

RESULTADOS

Las cargas medias de combustible fino total fueron significativamente diferentes en los dos sitios de estudio: 6318 $kg MS \cdot ha^{-1}$ en sitio de estudio 1 versus 2897 $kg MS \cdot ha^{-1}$ en sitio de estudio 2, respectivamente ($p > F = 0,0001$, fig. 1A). Estas diferencias significativas se presentaron también en la DA total: 2,53 $kg MS \cdot m^{-3}$ versus 1,16 $kg MS \cdot m^{-3}$, para sitios

de estudio 1 y 2 respectivamente ($P > F = < 0,0001$, fig. 1B) y se mantuvieron a nivel de estrato de altura. El combustible presentó densidad en estrato 1 en ambos casos (tabla 1). El combustible fino en los dos lugares de estudio estaba compuesto por *Trichloris pluriflora* y *Pappophorum pappipherum* (Poáceas), representando dichas especies el 70-80% de la composición botánica. La primera especie fue dominante en el sitio de estudio 1 y la segunda en el sitio de estudio 2 (Casillo, 2009). El porcentaje de tejido seco en el momento del fuego en las dos especies fue $> 95\%$ y los individuos de *T. pluriflora* presentaron mayor altura que las plantas de *P. pappipherum*. Las condiciones meteorológicas promedio observadas durante la quema fueron: (a) sitio de estudio 1: temperatura del aire = 27,75 °C, velocidad de viento a media llama (1,5 m de altura) = 2,5 $km \cdot h^{-1}$ y humedad relativa del aire 29,5% y (b) sitio de estudio 2: temperatura del aire = 32,4 °C, velocidad de viento a media llama (1,5 m de altura) = 5,3 $km \cdot h^{-1}$ y humedad relativa del aire 40,7%.

Las condiciones meteorológicas durante las quemadas se mantuvieron dentro de la prescripción (tabla 2). La velocidad de avance de fuego fue significativamente mayor en el sitio de estudio 1 (tabla 2, $p > F = 0,0001$), pero en el

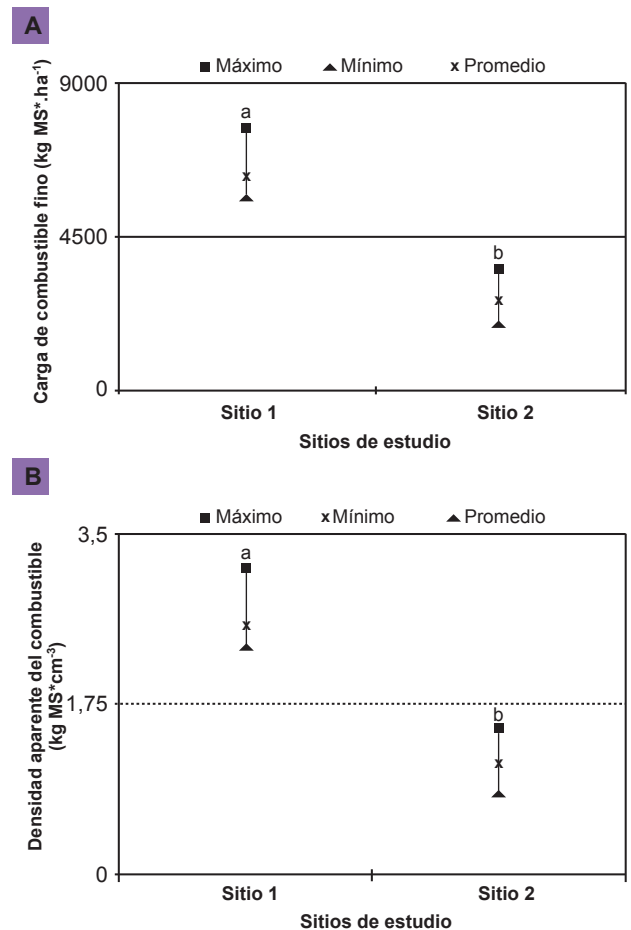


Figura 1. Promedio y rango de (A) carga de combustible fino total ($kg MS \cdot ha^{-1}$) y (B) densidad aparente total del combustible fino ($kg MS \cdot m^{-3}$) en un pastizal de sitio ecológico media loma, región chaqueña, por sitio de estudio. Campo Experimental La María. INTA EEA Santiago del Estero. Letras diferentes indican diferencias significativas. $\alpha = 0.05$.

Estratos de altura					
Atributo	Sitio de estudio	0-0,25 m	0,251-0,50 m	0,50-0,75 m	Total
C	1	3483,52	2547,88	286,8	6318,2
	2	1786,96	968,88	140,72	2896,56
DA	1	1.39 a	1.01 a	0.11 a	
	2	0.71 b	0.38 b	0.06 b	

Tabla 1. Carga media de combustible fino (C, kg MS*ha⁻¹) y densidad aparente media del combustible (DA, kg MS*m⁻³) para dos sitios de estudio por estrato de altura de un pastizal del sitio ecológico media loma. Campo Experimental La María, INTA EEA Santiago del Estero. Letras diferentes indican diferencias significativas, $\alpha = 0,05$.

Velocidad de avance del frente de fuego					
Fecha	Sitio / Parcela	Carga de combustible (kg MS*ha ⁻¹)	Longitud de la llama (m)	m.min ⁻¹	km.h ⁻¹
10/12/2007	1,1	5982,48	3--4	16,97	1,02
	1,2	6876,32	5--6		
	1,3	7752,72	3--4	33,41	sin datos
	1,4	6073,36	3--4	31,43	
	1,5	6280,88	4--6	27,37	
	1,6	5698,96	4--7	29,26	
Promedio				27,62	1,66
21/12/2007	2,1	3606,88	4--4.5	17,96	1,08
	2,2	3647,44	6	30	1,80
	2,3	2956,48	6	25,64	1,54
	2,4	1970,96	4	12,88	0,77
	2,5	2238,72	4	16,39	0,98
	2,6	1986,16	4	20	1,20
Promedio				20,7	1,24

Tabla 2. Longitud de llama y velocidad de avance del frente de fuego en un pastizal del sitio ecológico media loma, región chaqueña, Campo Experimental La María, INTA EEA Santiago del Estero.

sitio de estudio 2 la longitud de llamas fue mayor (tabla 2). La longitud de llamas promedio fue 3,5 m, pero si se encendían plantas de arbustos la longitud de llamas alcanzaba los 6-7 m. La forma de avance del frente de fuego fue curva. El combustible fino fue consumido de manera total, dejando ceniza negra. La velocidad de avance estuvo correlacionada significativa y positivamente con la carga de combustible fino ($\tau = 0.42$, $p < 0.0001$) y la densidad aparente ($\tau = 0.41$, $p < 0.0001$), pero la longitud de llama no presentó una asociación significativa con las variables mencionadas (figs. 2 y 3). La velocidad promedio de avance del fuego fue 24,0 m*min⁻¹ (extremos 17-32 m*min⁻¹), equivalentes a 1-2 km.h⁻¹.

DISCUSIÓN

La carga de combustible fino del pastizal de media loma estudiado en los dos sitios de estudio fue mayor que la informada por Streeks *et al.* (2005) para pastizales de Texas (EEUU), pero similar a la informada por Cheney *et al.* (1993), Cheney y Gould (1995) y McDonald y Mc Pherson

(2011) para pasturas naturales de Australia. Las diferencias en la carga de combustible fino y densidad aparente entre los dos sitios de estudio se atribuyen a la composición botánica. *T. pluriflora* es un pasto alto, erecto, con cañas lignificadas y fuertes, mientras que *P. pappipherum* presenta hábito cespitoso, predominando las hojas en relación a las cañas (Kunst, observación personal). La velocidad de avance del frente posee una magnitud comparable a otros pastizales subtropicales (Cheney *et al.*, 1993).

La longitud de llamas observada indica fuegos de alta intensidad, pero que se encuentran dentro de los rangos informados para fuegos en pastizales y sabanas (Trollope, 1984a, 1984b; Trollope y Tainton. 1986, Stocks *et al.*, 1996; Kunst *et al.*, 2001). Este tipo de fuegos son apropiados para dañar o matar la estructura aérea de especies leñosas de los géneros Acacia, Prosopis, Schinus, etc, que son un problema para la ganadería vacuna en dichos ambientes (Trollope, 1984a, 1984b; Kunst *et al.*, 2001). Los fuegos estudiados se consideraron 'dentro de la prescripción' si se emplean como referencia las prescripciones climáticas desarrolladas por Britton *et al.* (1987) y Trollope (1984a,

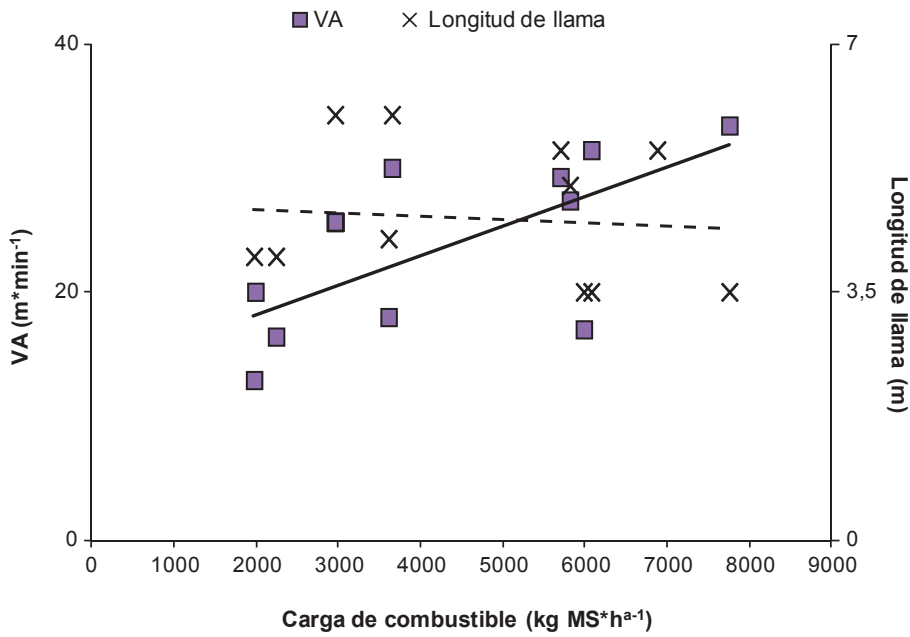


Figura 2. Correlación entre carga de combustible fino (C), velocidad de avance del frente de fuego (VA) y longitud de llama (L) en un pastizal de sitio de media loma. Campo Experimental La María. INTA EEA Santiago del Estero. Ref.: Línea llena, relación entre VA y C; línea cortada, relación entre L y C.

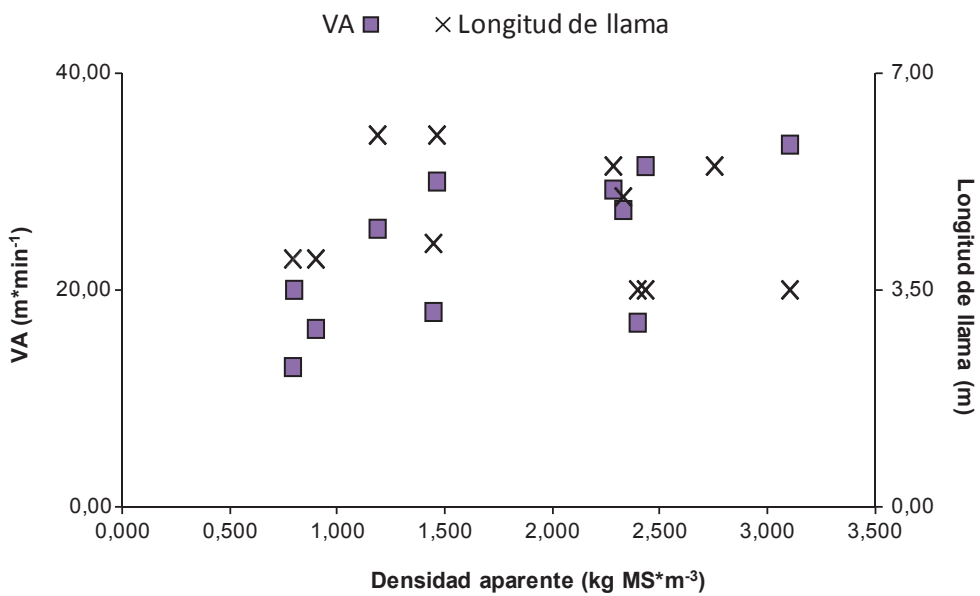


Figura 3. Correlación entre densidad aparente, velocidad de avance y longitud de llamas en un pastizal de sitio de media loma. Campo Experimental La María, INTA EEA Santiago del Estero.

1984b), pero ubicados en el extremo peligroso de la 'ventana de prescripción' debido a la longitud de llamas observada. La diferencia en la velocidad de avance del frente de fuego (VA) entre sitios de estudio puede atribuirse a la distinta arquitectura de las plantas de especies de gramíneas dominantes: individuos altos (~ 50 cm), con tallos lignificados como *T. pluriflora* facilitaron el avance del frente de fuego debido a que las llamas se encontraron con una estructura aérea abierta, que facilitó la propagación.

La ceniza negra observada sugiere que a pesar de la alta intensidad de los fuegos, su severidad es media a baja (Ryan y Noste, 1985).

Se debe tener en cuenta que esos fuegos no permiten un ataque directo en el caso de escapes, y su control debe basarse en métodos indirectos como la construcción de cortafuegos > 30 m de ancho (Wright y Bailey, 1982), o contrafuegos (Montiel y Kraus, 2010).

El enfoque clásico de estudio del comportamiento de fuego otorga a la carga de combustible una gran importancia en la predicción de la velocidad de avance del frente de fuego, mientras que otra escuela sugiere que no tiene ninguna importancia (Cheney *et al.*, 1993). En este experimento, VA fue influenciada de manera significativa por la carga de combustible y la densidad aparente, es decir por la cantidad de combustible y su distribución en un espacio tridimensional. Este hecho se atribuye a la heterogeneidad de la arquitectura de las especies que componen el pastizal de media loma y puede tenerse en cuenta incluyendo la composición botánica en los modelos matemáticos de propagación de fuego. La longitud de llamas no fue influenciada por la carga de combustible ni por su densidad aparente, probablemente porque la estimación de la misma en condiciones de campo fue afectada por la presencia de especies arbustivas con compuestos volátiles que modificaron este descriptor del fuego.

CONCLUSIONES

El frente de fuego en pastizales de media loma del Chaco se mueve rápido, con una longitud media de llamas ~ 3-4 m, lo que indica que es necesario dedicar especial atención y aplicar medidas de prescripción para evitar escapes, tales como cortafuegos de ancho superior a los 30 m (Wright y Bailey, 1982). La velocidad de avance estuvo asociada a la composición botánica, que a su vez influyó sobre la carga (cantidad) y la densidad aparente del combustible fino en lugar de condiciones ambientales definidas por la prescripción. La cantidad de calor emitida, por otra parte, estuvo más relacionada con la presencia de compuestos volátiles.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación estuvo financiada por el Proyecto FP6-018505 FIRE PARADOX 'An innovative approach of integrated wildland fire management regulating the wildfire problem by the wise use of fire: solving the fire paradox', European Union, 6th Framework, y por el Instituto Nacio-

nal de Tecnología Agropecuaria, Proyecto Específico 1503 'Incremento de la productividad de pastizales naturales' 2006-2009.

BIBLIOGRAFÍA

- AGEE, J. 1993. Fire ecology of Pacific Northwest forests. Island Press, Covelo, California. 493 p.
- ALEXANDER, M. 1982. Calculating and interpreting forest fire intensities. *Canadian Journal of Botany* 60: 349 - 357.
- AUSTRALIAN WEEDS AND LIVESTOCK. 2011. Información sobre el género *Schinus*. (<http://www.weeds.mangrovemountain.net/data/Schinus%20spp%20-%20Pepper%20tree.pdf>. Verificado: 18 de agosto de 2011).
- BELGILI, E.; SAGLAM B. 2003. Fire behavior in maquis fuels in Turkey. *Forest Ecology and Management* 184: 201-207.
- BOLETTA, P. 1988. Clima. Chap. 1, p. 7-21. In: R. Casas (compilador): Desmonte y habilitación de tierras en la región chaqueña semiárida. F.A.O., Santiago, Chile. 306 p.
- 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. En: KUNST, C.; SIPOWICZ, A.; MACEIRA, N.; BRAVO, S. (Eds.) Memoria Seminario-Taller Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados. INTA EEA Sgo del Estero, Argentina. 180 p.
- BRAVO, S.; KUNST, C.; GRAU, R.; ARÁOZ, E. 2010. Fire-rainfall relationships in Argentine Chaco savannas. *Journal of Arid Environments*. 74: 1319-1323.
- BRAVO, S.; KUNST, C.; GIMÉNEZ, A.; MOGLIA, F. 2001. Fire regime of an *Eliorus muticus* savanna, western Chaco region, Argentina. *International Journal of Wildland Fire* 10: 65-72.
- BRITTON, C.; WRIGHT, H.; DAHL, B.; UECKERT, D. 1987. Management of tobasgrass rangeland with prescribed fire. *Manage. Note* 12. Dept. of Range and Wildlife. TTU, Lubbock, Texas, USA.
- BUCHER, E. 1982. Chaco and Caatinga. South American arid savannas, woodlands and thickets. p. 48-79. In: B. HUNTLEY AND B. WALKER (EDS): *Ecology of tropical savannas*. Ecol. Studies Vol. 42. Springer Verlag, Berlín.
- BURKART, A. 1969. Flora ilustrada de Entre Ríos (Argentina): Parte II: Gramíneas. INTA, Colección Científica, Tomo VI, parte II, Buenos Aires, 551 p.
- CASILLO, J. 2009. Efectos de la disponibilidad hídrica y el fuego sobre la germinación y reclutamiento de herbáceas y leñosas en una sabana del Chaco semiárido. Tesis de Maestría, Escuela para Graduados Alberto Soriano Convenio Facultad de Agronomía – U.B.A Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 59 p.
- CASILLO, J.; KUNST C.; SEMMARTIN M. 2011. Effects of fire and water availability on the emergence and recruitment of grasses, forbs and woody species in a semiarid Chaco savanna. *Austral Ecology*, DOI: 10.1111/j.1442-9993.2011.02306.x
- CHENEY, N.; GOULD J.; CATCHPOLE, W. 1993. The influence of fuel, weather and fire shape variables on fire spread in grasslands. *Int. Journal of Wildland Fire* 3: 31-44.
- CHENEY, N.; GOULD, I. 1995. Fire growth in grasslands fuels. *International Journal of Wildland Fire* 5: 237-247.
- DEBANO L.; NEARY D.; FFOLIOTT P. 1998. Fire's effects on ecosystems. J. Wiley and Sons. Inc, NY, USA 333 p.
- ENCYCLOPEDIA OF SOUTHERN FIRE SCIENCE. 2009. Article Fire Behavior. (<http://fire.forestencyclopedia.net/pp354>. Verificado: diciembre 2009).

- FAO. 2006. Fire management: voluntary guidelines. Principles and strategic actions. Fire Management Working Paper 17. Roma, Italia.
- GLITZENSTEIN, J.; PLATT, W.; STRENG, D. 1995. Effects of fire regime and habitat on tree dynamics in north Florida longleaf pine savannas. *Ecological Monographs* 65: 441-476.
- HÉLY, C.; ALLEAUME, S.; SWAP, R.; SHUGART, H.; JUSTICE, C. 2003. Safari-2000 characterization of fuels, fire behavior, combustion completeness, and emissions from experimental burns in infertile grass savannas in western Zambia. *Journal of Arid Environments* 54: 381-394.
- HIERONYMUS, J. 1874. Observaciones sobre la vegetación de la Provincia de Tucumán. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias Exactas de Córdoba, Tomo I*: 185-234.
- INSTITUTO DE BOTÁNICA DARWINION. 2007. Catálogo de Plantas Vasculares de la República Argentina. (<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina> Verificado: 25 de junio de 2011)
- JACQUES, A. 1858. Una excursión al Salado y al Chaco. Emecé Editores, Arg.
- KUNST, C.; BRAVO, S.; MOSCOVICH, F.; HERRERA, J.; GODOY, J.; VÉLEZ, S. 2003. Fecha de aplicación de fuego y diversidad de herbáceas en una sabana de *Elionorus muticus* (spreng) O. untze (aibe). *Rev. Chilena de Historia Natural* 76: 105-115
- KUNST, C.; BRAVO, S.; MOSCOVICH, F.; HERRERA, J.; GODOY, J.; VÉLEZ, S. 2001. Control de tusca (*Acacia aroma* Gill ap. H. et A.) mediante fuego prescripto. *Revista Argentina de Producción Animal*. 20: 199-213.
- KUNST, C.; MONTI, E.; PÉREZ H.; GODOY, J. 2006. Assessment of the rangelands of southwestern Santiago del Estero, Argentina for grazing management and research. *Journal of Environmental Management* 80: 248-265.
- McDONALD, C.; McPHERSON, G. 2011. Fire behavior characteristics of buffelgrass-fueled fires and native plant community composition in invaded patches. *Journal of Arid Environments* 75: 1147-1154.
- MONTIEL, C.; KRAUS, D. 2010. Best practices for fire use – Prescribed burning and suppression fire programmes in selected case-study regions in Europe. *Fire Paradox and European Forest Institute Research Report* 24, Finlandia. 150 p.
- MORELLO J. 1970. Modelo de relaciones entre pastizales y leñosas colonizadoras en el Chaco argentino. *IDIA* 276: 31-52.
- MORELLO, J.; ADÁMOLI, J. 1968. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Primera parte: objetivos y metodología. *INTA Serie fitogeográfica N.º10*. Buenos Aires. 200 p.
- MORELLO, J.; SARAVIA TOLEDO, C. 1959. El bosque chaqueño I y II. *Rev. Agronómica del Noroeste Argentino*, 3: 5-81/209-258.
- MORICONI, J.I.; FERNÁNDEZ, E.A.; MARTÍNEZ, E., GIULIETTI, A. 2009. Rendimiento de materia seca y composición del aceite esencial de *Lippia turbinata* Griseb. "poleo" (Verbenaceae), en plantas de San Luis (Argentina). *Horticultura Argentina* 28: 34-38.
- MYERS, R. 2008. El Programa de Manejo Integral del Fuego del TNC. (<http://www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos/forraje/09/Fuego/Charlas/19.pdf> Verificado: 23 de noviembre de 2011).
- NUÑEZ, M.; SOSA, A.; AGUADO, M.; RAISMAN, J. 2006. Caracterización de extractos fluidos de *Lippia turbinata* Griseb. Resumen E-052, Comunicaciones científicas y tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste. (www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt2006/08-Exactas/2006-E-052.pdf. verificado: 16 de agosto de 2011).
- RAGONESE, A. 1951. La vegetación de las Salinas Grandes. *INTA, Revista de Investigaciones Agrícolas* 5: 3-232.
- RENOLFI, R. 1993. Dinámica de una sabana de *Elionorus muticus* Spreng. (aibe) sometida a fuegos fortuitos. p. 171-176. En: KUNST, C.; SIPOWICZ, A.; MACEIRA, N; BRAVO, S. (Eds.) *Memoria Seminario-Taller Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados*. INTA EEA Sgo del Estero, Argentina. 180 p.
- RYAN, K.; NOSTE, N. 1985. Evaluating prescribed fires. p. 230-238. En: LOTAN, J.; KILGORE, B.; FISCHER, W.; MUTCH R. (eds.) *Proceedings of the Symposium and Workshop on Wilderness Fire*. Intermountain Forest and Range Exp. Station, Missoula, Montana, GTR INT-182. 350 p.
- SAS. 1998. Release 6.12 Edition. SAS Institute Inc. Cary, N. C. 300 p.
- SILVA, J.; REGO, F.; FERNANDES, P.; RIGOLOT, E. 2010. Introducing the fire paradox. Cap. 1, p. 3-6, En: SILVA, J., REGO, F., FERNANDES, P., RIGOLOT, E. (eds). *Towards integrated fire management-Outcomes of the European project Fire Paradox*. European Forest Institute, Finlandia.
- STOCKS, B.; VAN WILGEN, B.; TROLLOPE, W.; MCRAE, D.; MASON, J.; WEIRICH, F.; POTGIETER, F. 1996. Fuels and fire behavior dynamics on large-scale savanna fires in Kruger National Park, South Africa. *Journal of Geophysical Research* 101: 23541-23550.
- STREEKS, T.; OWENS, M.; KEITH, T.; WHISENANT, S. 2005. Examining fire behavior in mesquite-acacia shrublands. *International Journal of Wildland Fire* 14: 131-140.
- TORTORELLI, L. 1947. Los incendios de bosques en la Argentina. Ministerio de Agricultura, Dirección Forestal, Buenos Aires, 238 p.
- TROLLOPE, W.S.W. 1984a. Fire in savanna. Chap. 7. p. 149-197. En: Booysen P. de V.; Tainton, N. (Eds): *Ecological effects of fire in South African Ecosystems*. Springer Verlag. Berlin. 426 p.
- TROLLOPE, W.S.W. 1984b. Fire behaviour. Chap. 9. p. 199. En: BOOYSEN P. DE V.; TAINTON, N. (Eds): *Ecological effects of fire in South African Ecosystems*. Springer Verlag. Berlin. 426 p.
- TROLLOPE, W.; TAINTON, N. 1986. Effect of fire intensity on the grass and bush components of the Eastern Cape. *Journal of the Grassland Society of south Africa*. 3: 37-42.
- WRIGHT, H.; BAILEY, H. 1982. Fire ecology in The United States And Canada. J. Wiley And Sons, New York. 501 p.