

El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas



El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas

Editores

Jorge ULLÉ & Beatriz M.DIAZ



Secretaría
de Agroindustria



Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

2018

El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas

Editores: Jorge ULLÉ & Beatriz M.DÍAZ



EDICIÓN ESPECIAL para el VII CONGRESO LATINOAMERICANO DE AGROECOLOGÍA 2 al 5 de Octubre Guayaquil ECUADOR SOCLA 2018

El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas : edición especial para SOCLA en VII Congreso Latinoamericano de Agroecología Guayaquil Ecuador 2018 / Jorge Angel Ulle ... [et al.] ; compilado por Jorge Angel Ulle ; Beatriz María Díaz ; editado por Jorge Angel Ulle ; Beatriz María Díaz ; fotografías de Jorge Angel Ulle ; Beatriz María Díaz ; prólogo de Jorge Angel Ulle ; Beatriz María Díaz. - 1a ed. - San Pedro, Buenos Aires : Ediciones INTA, 2018.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-521-948-9

1. Ecología Agrícola. 2. Agricultura Sustentable. 3. Biodiversidad. I. Ulle, Jorge Angel II. Ulle, Jorge Angel, comp. III. Díaz, Beatriz María, comp. IV. Ulle, Jorge Angel, ed. V. Díaz, Beatriz María, ed. VI. Ulle, Jorge Angel, fot. VII. Díaz, Beatriz María, fot. VIII. Ulle, Jorge Angel, prolog. IX. Díaz, Beatriz María, prolog.
CDD 577.55

© 2018, Ediciones INTA

Libro de edición argentina

Todos los derechos reservados. No se permite la reproducción total o parcial, la distribución o la transformación de este libro, en ninguna forma o medio. Ni el ejercicio de otras facultades reservadas sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes vigentes.

Índice

Prólogo.....	7
INTRODUCCIÓN	
El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agro-ecosistemas	
Luis Antonio Milesi Delaye, Adrian Andriulo, Jorge Ullé.....	9
CAPÍTULO 1	
En la búsqueda de prácticas agroecológicas para la restauración y uso sustentable de los pastizales naturales pampeanos, recursos forrajeros multifuncionales	
Alejandra Casal, Florencia R. Jaimes, Ariela Cesa, María Julia Martinefsky, José Orondo, Adriana Quiñónez Martorello, Agustina Lavarello Herbin, Raúl Pérez, Verónica Maldonado May.....	29
CAPÍTULO 2	
Manejo sostenible del parasitismo gastrointestinal en bovinos en sistemas silvo-pastoriles	
Javier Schapiro, Andrea Pantiu.....	67
CAPÍTULO 3	
Servicios eco-sistémicos provistos por hongos formadores de micorrizas y efecto de las prácticas de manejo en cultivos de base agroecológica	
Valeria Faggioli, Sarah Symanczik.....	87
CAPÍTULO 4	
Evaluación de alternativas de manejo orgánico sobre parámetros biológicos del suelo en sistemas agrícolas extensivos	
Valeria Faggioli, Jimena Ortiz, Luciano Gabbarini, Tomás Baigorria, Vanesa R. Pegoraro, Mónica F. Boccolini, Cristian R. Cazorla.....	107

CAPÍTULO 5

La transición agroecológica desde el punto de vista del suelo: reflexiones desde la ecología microbiana

Laura Cecilia De Luca, Ana Ernestina Salazar Martínez, Raúl Alberto Pérez.....131

CAPÍTULO 6

Comportamiento de sistemas mixtos agrícolas pecuarios en la zona norte de región pampeana

Luis Jacquelin145

CAPÍTULO 7

Evaluación de cultivos antecesores de primavera verano; en la sucesión de cultivos hortícolas de otoño invierno y primavera bajo manejo agroecológico

Jorge Ullé, Héctor Martí, Esteban J. Rubio163

CAPÍTULO 8

Herramientas tecnológicas en la transformación de residuos para la fertilización orgánica

Luciano Orden, Roberto Adrián Rodríguez.....195

CAPÍTULO 9

Viticultura sustentable en los valles irrigados de Mendoza: evaluación de prácticas agroecológicas para incrementar la resiliencia de agro-ecosistemas frágiles.

Ernesto Martín Uliarte, Florencia Noemí Ferrari, Laura Elizabeth Martínez,
Carla Vanina Dagatti, Alejandro Omar Ambrogetti, Marcos Adrián Montoya213

CAPÍTULO 10

El uso de “plantas insectario” como aporte al control de plagas en hortalizas de hoja en el nordeste de Entre Ríos

Beatriz M. Díaz, María A. Martínez.....237

Prólogo

Cuando en 2007 y 2009 Miguel Altieri visitó el INTA, en su presentación recordó las primeras gráficas publicadas por Stephen Gliessman -en 1998- acerca de la transición agroecológica, también enfatizó en la importancia de los fundamentos de la biodiversidad como herramienta fundamental para afrontar estos procesos de cambio y conversión. En publicaciones posteriores estos conceptos de diversidad de hábitats y manejo orgánico del suelo (Altieri, Nicholls, 2007) abrían un nuevo camino en quienes, espacialmente y temporalmente, buscaban diseñar nuevos agro-ecosistemas bajo la aplicación de principios de la Agroecología y sus sinergias. Estos dos pilares de la conversión agroecológica, referidos al manejo de suelos y la biodiversidad asociada, planificada y circundante siguen siendo hoy una orientación y una línea base, desde donde debemos partir en nuestros estudios en Agroecología. Metodológicamente también trabajamos con un enfoque de ciencia que implica un corpus de conocimientos interdisciplinarios y holísticos, y nuestros estudios de suelos comienzan con pequeños microorganismos y van en continuo hasta, insectos, hormigas, arañas, ácaros y otros artrópodos que pueblan la vida de este cuerpo viviente en constante evolución, dotado de una memoria alojada en su componente orgánico. Este componente le permite relaciones con organismos descomponedores, fijadores, promotores, antagonistas, cementantes, secuestradores, mineralizadores, recicladores, aumentando siempre sus potencialidades para brindar servicios ecosistémicos al agroecosistema y prestar alojamiento a gran cantidad de grupos funcionales. Además, sus complejos sistemas porosos, constituyen el mayor filtro físico, porque remueven las partículas suspendidas en el agua, el mayor reactor químico, porque remueve las sustancias químicas disueltas en el agua y el mayor bioreactor del planeta ya que transforma y degrada las sustancias químicas por acción de los microorganismos que lo habitan. También la diversidad del suelo ha sido proveedora de razas y cepas de microorganismos que el hombre luego aisló en laboratorio para el control microbiano o la fijación de nitrógeno. Para nosotros en Agroecología los suelos no son simplemente un reservorio con niveles críticos, altos o bajos de nutrientes, ya que también los “suelos pobres” pueden ser moldeados por, biofertilizantes, abonos orgánicos, cultivos de cobertura, raíces de plantas, interacciones con la vegetación natural, que le devuelven al mismo la capacidad de rotar y reciclarse en el sistema agrícola y volverse productivos. También los suelos se relacionan con la biodiversidad que el hombre imprime a los agroecosistemas, a la complejidad espacial con la cual esos elementos se disponen en el espacio y el tiempo. Un paisaje será más heterogéneo, cuando presenta mayor cantidad de ambientes, y esto es más favorable a los suelos y el paisaje agropecuario. Ya en los principios básicos de la Agroecología los primeros enunciados son explícitos cerca de 1. Aumentar el reciclaje de biomasa, con miras a optimizar la descomposición de materia orgánica y el ciclo de nutrientes; 2. Proveer las condiciones de suelo más favorables para el crecimiento vegetal, en particular mediante el manejo de la materia orgánica y el mejoramiento de la actividad biológica del suelo 3. Fortalecer el sistema inmunológico de los sistemas agrícolas, mejorando la biodiversidad con funciones de regulación natural de organismos nocivos. 4. Minimizar las pérdidas de energía, agua, nutrientes y recursos genéticos, mejorando la conservación y regeneración de suelos, recursos hídricos y la

diversidad biológica agrícola. En todos ellos la dimensión Suelo es mayúscula, prioritaria y destacada, más aún si pensamos en re-diseñar los sistemas agrícolas frente a este nuevo paradigma. Cuando Vazquez y Funes (2014) analizan la Agricultura del Futuro, la capacidad de respuesta está dada por la Resiliencia al cambio climático y la globalización, la Soberanía por saber mediar frente a nuevos procesos de innovación y tecnologías y la Sostenibilidad por saber mantener los niveles de producción junto a la sociedad y los recursos naturales sin dañarlos. Pero emerge también del texto, las bondades y capacidad de búsqueda, como carácter intrínseco de la Agroecología en relaciones y superposiciones con estas dimensiones. Cabría preguntarse, en este contexto, ¿cómo organizamos esta gran tarea en el quehacer diario de docentes, investigadores, extensionistas? En 2013 ya advertimos en la mirada de muchos proyectos, que la Agroecología se había instalado como un término-sinónimo de un enfoque inter-disciplinario y aplicable a diferentes escalas territoriales, capaz de generar una mayor diversidad y adaptabilidad local y nuevos diseños socios-productivos. ¿En qué medida este enfoque, ciencia o corpus de conocimiento también podría ser una vía alternativa en la mejora de los problemas de la investigación actual?. Sin duda su contribución a una investigación de largo plazo con compromiso de integración, abarcando interacciones complejas de los agro-ecosistemas y su relación con valores de la sociedad que los contiene y con las prácticas de los actores humanos, es su más destacado aporte. Como resultado y parte de esta contribución a ese todo, nuestro gran aporte actual desde la RED de AGROECOLOGIA de INTA es poder brindar junto a profesionales y compañeros de ruta, esta primera aproximación: **EL SUELO COMO REACTOR DE LOS PROCESOS DE REGULACIÓN FUNCIONAL DE LOS AGROECOSISTEMAS**; el cual contiene en sus capítulos resultados inéditos de investigaciones y estudios realizados durante el período 2012-2018.

Los autores agradecen a INTA en su Centro Documental, Gestión de la Información, Dir. Planificación, Coord. de Investigación, Secretaria Técnica, Dirección Nacional, Dirección de Relaciones institucionales y Centros Regionales participantes.

– Ing Agr Jorge Angel Ullé (MSc)

– Ing. Agr. Beatriz M. Diaz (Dra Ciencias Agrarias)

INTRODUCCIÓN

EL SUELO COMO REACTOR DE LOS PROCESOS DE REGULACIÓN FUNCIONAL DE LOS AGROECOSISTEMAS



Luis Antonio
Milesi Delaye¹



Adrián Enrique
Andriulo¹



Jorge Ángel Ullé²

¹ EEA Pergamino: Av. Frondizi Ruta 32 km 4,5 (2700) Pergamino Buenos Aires

² EEA San Pedro: Ruta 9 km 170 (2930) San Pedro Buenos Aires

Correo electrónico: milesi.luis@inta.gob.ar.

Introducción

Los suelos, como cuerpos vivientes en constante evolución, están dotados de una memoria alojada en su componente orgánico (Janzen, 2005). Ésta constituye una muy pequeña fracción del todo, pero su dinámica, tiene un impacto muy significativo que se expresa a diferentes escalas de tiempo y espacio: pequeños cambios generalizados en su contenido pueden afectar la fertilidad a nivel de un lote y, al mismo tiempo, el clima del planeta (Dignac et al., 2017). Además, como complejos sistemas porosos, constituyen el mayor filtro físico (remueve las partículas suspendidas en el agua), el mayor reactor químico (remueve las sustancias químicas disueltas en el agua) y el mayor bioreactor del planeta (transforma y degrada las sustancias químicas por acción de los microorganismos que lo habitan) (Richter, 1987). Un suelo perfecto tiene una distribución de poros de diferentes tamaños que pueden filtrar el agua y permitir un movimiento adecuado a través de su matriz. El suelo tiene una carga neta negativa (-) que desencadena la adsorción de iones cargados positivamente (+) del agua en movimiento. Otras sustancias químicas son eliminadas por el suelo al convertirse en parte de su estructura, a través del enlace covalente. Dentro del suelo, las bacterias y los hongos transforman y descomponen los productos químicos. El ciclo del nitrógeno depende especialmente del reactor del suelo. Los microbios cambian las formas orgánicas de nitrógeno al ion amonio. Otros microbios lo cambian de amonio a nitrato, y otros transforman el nitrato a nitrógeno gaseoso, que luego ingresa a la atmósfera. De manera similar, si el suelo “detecta” un contaminante orgánico, los microbios se ponen a trabajar transformándolo y descomponiéndolo, por lo que even-

tualmente se convierte en dióxido de carbono y agua. El efecto neto es que el suelo brinda un servicio a la sociedad. Limpia el agua que llega a ríos y arroyos. Ayuda a mantener el agua limpia para que la usemos y para que la vida silvestre sobreviva. Si no cuidamos el “reactor más grande del planeta”, podemos destruir los servicios que proporciona y dañar nuestro medio ambiente en el proceso (Comerford, 2013).

Además de cumplir un papel decisivo en los sistemas de producción, es base de la obtención de alimentos, actúa en la regulación del ciclo y la calidad del agua, la acumulación de carbono y la mitigación del efecto invernadero, el reciclado de materiales orgánicos, el mantenimiento de la biodiversidad, la provisión de materiales para la construcción y la industria, y la participación en el valor estético del paisaje. Cada acción que impulsemos tendrá un impacto, que puede llegar a afectar la sustentabilidad económica, la soberanía y la seguridad alimentaria. Sus funciones (servicios) muchas veces se ven amenazadas por cambios en el contexto ambiental, generalmente, producidos por actividades humanas, que en algunos casos, son consideradas de tal relevancia que igualan a las fuerzas de la naturaleza (Röckstrom et al., 2009; Blum, 2013). Cuando las amenazas cobran importancia se desencadenan procesos de degradación. Entre ellos, se pueden mencionar la disminución de la materia orgánica, la minería de nutrientes, la pérdida de biodiversidad, la erosión, la contaminación, la impermeabilización, la compactación, la salinización, las inundaciones y la desertificación (**Figura 1**). Esto ocurre porque se espera que el suelo realice una serie de funciones que coexisten al mismo tiempo. Al aumentar

constantemente las demandas sobre éste, tiende a crearse un sistema inestable en donde el reactor se vuelve menos resistente y más vulnerable. Estas amenazas son consideradas cada vez más relevantes para la función de producción de biomasa y, por lo tanto, afectan la seguridad alimentaria global.

A pesar que la disponibilidad de suelos es finita, Argentina tiene una gran oferta de suelos de elevada capacidad productiva, que le generan una valiosísima economía basada en la biología y una alta dependencia de los suelos. Sin embargo, no escapa a las problemáticas anteriormente mencionadas (Casas & Albarracín, 2015). Los procesos de degradación física, química y biológica de los suelos ocurren en todas las ecorregiones de nuestro país con diferente grado de desarrollo (por ejemplo: la disminución de la materia orgánica) y otros son propios de algunas de ellas (salinización en ambientes semiáridos/áridos; desertificación en la ecorregión Patagonia). Entre las causas que se encuentran detrás de dichos procesos, se identifican:

- La intensificación, en donde es frecuente la adición de plaguicidas, una cobertura vegetal manejada inadecuadamente, alta extracción de nutrientes y deficiencias en el análisis de calidad de los suelos.
- Los cambios en el uso de la tierra, debidos a una mala adecuación del uso de la tierra a la capacidad inherente así como a la fragmentación y expansión urbana.
- Del legado, dado por los impactos pasados derivados de la agriculturización de los pastizales, la deforestación.

El Legado en el corazón de la Pampa Húmeda

La Pampa Húmeda ocupa una superficie de 500.000 km². Está localizada entre 31° y 39° de latitud sur y entre 57° y 65° de longitud oeste. Incluye la mayor parte de las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos,



Figura 1. Amenazas e impactos sobre el recurso suelo (adaptado de Blum, 2013).

el centro y sur de la provincia de Santa Fe, el centro y sud-este de la provincia de Córdoba y el noreste de la provincia de La Pampa (**Figura 2**).

Se observa un gradiente de intensidades de lluvias decrecientes del noreste al sudoeste (de 1000 a 600 mm) y un gradiente de temperaturas decrecientes del norte al sur (de 19 a 14°C). Estos gradientes inducen diferencias a nivel macro-regional. Los suelos del centro-sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires muestran perfiles bien desarrollados con horizontes A, B y C muy potentes mientras que los suelos del sudoeste tienen un desarrollo mínimo y los horizontes están menos diferenciados. Las lluvias han producido en el norte horizontes B de

mayor espesor y poseen un contenido de arcilla más elevado que en el sudoeste (Moscatelli et al., 1991).

Se registra, de norte a sur, un gradiente de materia orgánica del suelo (MOS) que pasa del 3% en el norte a más del 8% en el sudoeste. Esta diferencia proviene del gradiente de temperaturas medias, que al ser mayores en el norte aceleran la mineralización. Además, estos gradientes determinan diferencias en la ocupación del suelo, en el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe, las necesidades en agua y temperatura de los principales cultivos están satisfechas durante todo el año, permitiendo la realización de doble cultivos.

Una subregión natural de ésta región es la Pam-

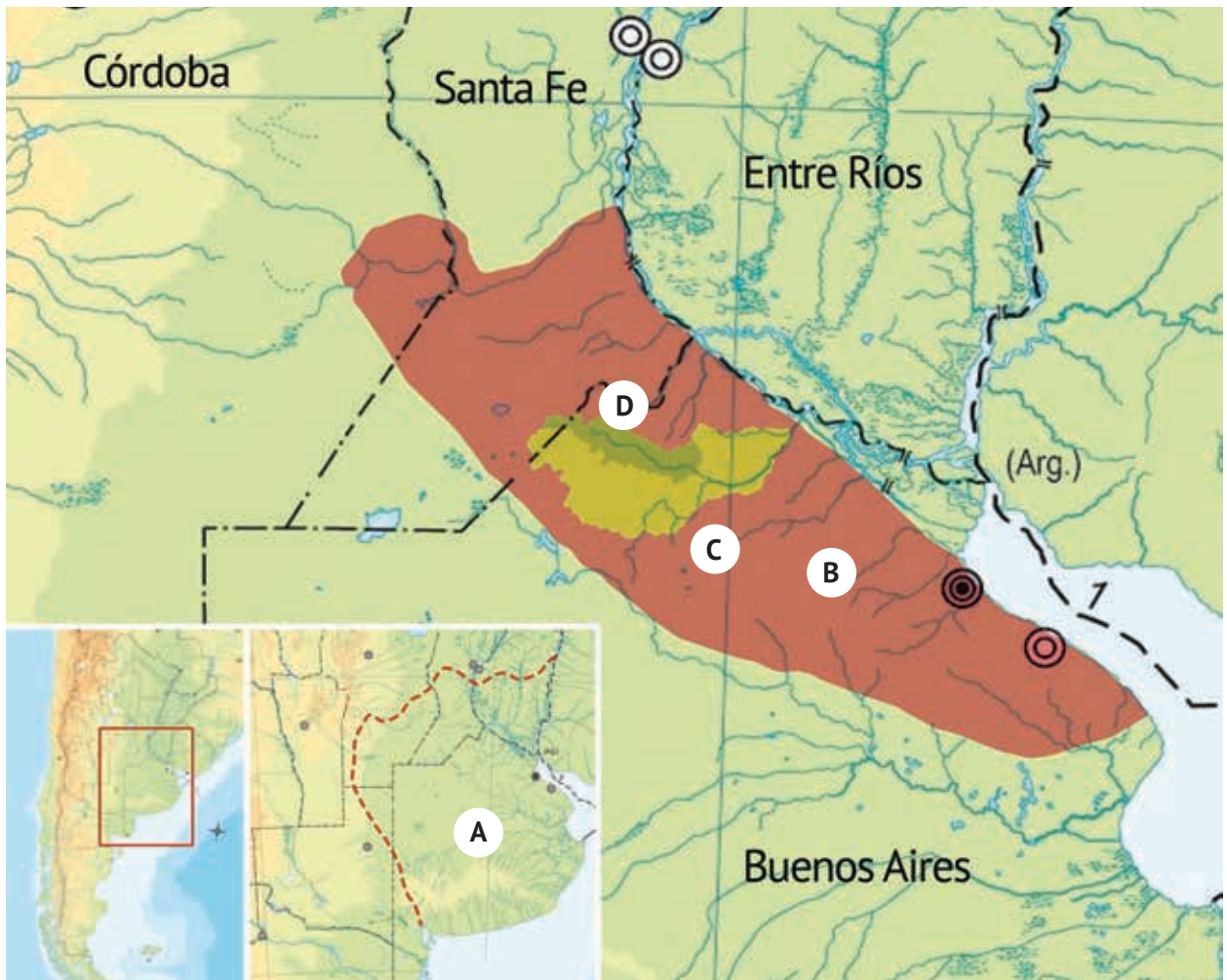


Figura 2. Pampa Húmeda (A), Pampa Ondulada (B) y cuencas del río Arrecifes (C) y del arroyo Pergamino (D).

pa Ondulada (alta). Desde el punto de vista de la actividad agropecuaria es la más importante de la región, debido a sus características edafoclimáticas. Los suelos están desarrollados sobre un sedimento loessico espeso (**Figura 2**). La misma se extiende entre los paralelos 32° y 35° S y los meridianos 58° y 63° O. Los suelos, formados a partir de loess, son Argiudoles típicos, vérticos y ácuicos (US Soil Taxonomy), profundos, relativamente bien drenados, ligeramente ácidos y bien provistos originalmente con MOS, lo que los hace muy fértiles. Generalmente, presentan un horizonte A de textura franco-limoso (19-26% arcilla, 55-74% limo y 4-24% arenas finas y muy finas) seguido de un horizonte Bt arcillo-limoso (30-55% arcilla) con un espesor de ~60 cm. El clima es templado húmedo sin estación seca y con un verano muy cálido (Hall et al., 1992). La temperatura media anual varía desde los 9 °C en Julio hasta los 24 °C en febrero. La temperatura mínima del suelo nunca alcanza los 0 °C; por lo tanto, los mismos no se congelan y la actividad biológica nunca se ve afectada. La precipitación media anual varía entre 900 y 1000 mm año⁻¹ y el 70-75% se concentran durante la primavera y el verano, dando lugar a procesos erosivos de importancia. El relieve es moderadamente ondulado, con pendientes de hasta el 3%. La combinación del grado de pendiente y la longitud de las mismas convierten a estos suelos en susceptibles a la erosión hídrica (Michelena et al., 1989).

Cambios en los sistemas productivos y sus principales impactos

En Argentina, los únicos registros de prácticas agrícolas del periodo prehispánico, provienen del noroeste del país, específicamente, de las comunidades integrantes del Imperio Incaico, y del litoral. La agricultura en la región Pampeana es muy joven. La ganadería extensiva representó la principal actividad económica entre fines del siglo XVIII y XIX. Fue, principalmente, con la fundación de las colonias durante el proceso de “Organización Nacional”

(desde mediados del s. XIX hasta fines s. XIX – inicio del s. XX) que se inició el desarrollo y expansión de la agricultura bajo el método de aparcería (Colomé, 2009). En la Pampa Ondulada, conocida por la riqueza natural de sus suelos y por la benignidad de su clima, el inicio de la agricultura estuvo de la mano de los cultivos de lino, maíz y trigo bajo labranza convencional y quema de rastrojos en rotación con ganadería. Este período estuvo marcado por la generación de importantes emisiones de carbono y nitrógeno que no se midieron.

A partir de la finalización de la II Guerra Mundial y la expansión de la industria química, se desarrollaron los primeros herbicidas e insecticidas que permitieron el inicio del control químico de malezas y plagas. A su vez, la incorporación de la cosecha mecánica generó un salto en el manejo de los residuos de cosecha, ya que dejó de quemarse el rastrojo. En esa época se observaron los primeros síntomas de erosión. En la veintena que va desde los '50 hasta los '70, comenzó la expansión de los nuevos productos químicos al calor de la revolución verde. Comenzaron a detectarse los indicios de efectos tóxicos del uso de DDT y otros compuestos organoclorados.

Hacia 1970 se introdujo en la Pampa Ondulada el cultivo de soja que se rotaba con el cultivo de trigo en el mismo año, y un nuevo período de quema de rastrojo, con lo que volvieron a intensificarse las emisiones de carbono y nitrógeno a la atmósfera. La quema obedecía a la falta de tiempo para la preparación de la cama de siembra para la soja de segunda siembra luego de la cosecha de trigo. La agricultura amplió su frontera, comenzó a disminuir la superficie destinada a ganadería, y se lanzó al mercado el glifosato. La fertilización era casi nula, aún se contaba con la riqueza natural de los suelos, pero ya se evidenciaban las pérdidas del 30 y 47% en las reservas de carbono y nitrógeno, respectivamente (**Figura 3**). Si bien es difícil relacionar la materia orgánica del suelo con su productividad, resulta clave para relacionarla con las funciones prestadas por el suelo. Esta materia orgánica es la memoria, a medida que se degrada

“olvida” sus funciones y comienza a expresarse la degradación edáfica.

La década del '90 introdujo la tecnología de siembra directa para controlar los problemas de erosión y comenzó a implementarse la fertilización nitrogenada y fosforada. Hubo mejoramientos genéticos en maíz y trigo que respondieron mejor al uso de insumos. La reposición de nutrientes, de todos modos, tuvo una tasa muy baja.

Con el registro, en el año 1996, de la soja RR en el mercado local, comenzó el proceso de simplificación productiva con el uso de herbicidas, principalmente glifosato. Paralelamente, aumentó el crecimiento de los países asiáticos (sudeste, China e India) y hubo una mayor demanda de granos. Esto trajo aparejado un cambio en la estructura social y productiva del sector. La implementación masiva de la siembra directa fue acompañada de rotaciones entre los productores grandes, mientras que los pequeños pasaron al monocultivo de soja por la ecuación resultante de rentabilidad y escala productiva. El proceso de sojización se vio impulsa-

do por un cambio radical en la forma de producir (tercerización de los servicios, “pooles de siembra”, fideicomisos) y de la tenencia de la tierra (alquiler) producto del ingreso de capitales internacionales.

El proceso de sojización se acentuó entre 1996 y 2012. Por ejemplo, el partido de Pergamino pasó a tener el 80% de su superficie con soja de primera y segunda y el 20% de la superficie cultivable con maíz y trigo. En ese período se registraban secuencias de ocho cultivos de soja, una de trigo-soja y una de maíz con fertilización promedio de 20 kg ha⁻¹ de nitrógeno y de 13 kg ha⁻¹ de fósforo. (Figura 4). A partir del año 2015, regresaron las rotaciones con los cultivos de trigo y maíz, aunque aún no ha podido determinarse si se trata de una respuesta coyuntural o de una tendencia estructural.

Luego de la adopción de la siembra directa continuaron disminuyendo las reservas de materia orgánica, tanto en soja continua como en rotación. Sin embargo, en los sitios con rotación su tasa ha sido menor y actualmente las reservas permanecen más elevadas que en los sitios con larga historia de

Hasta los '90: Fertilización <5 kg N/ha Sin fertilización con P

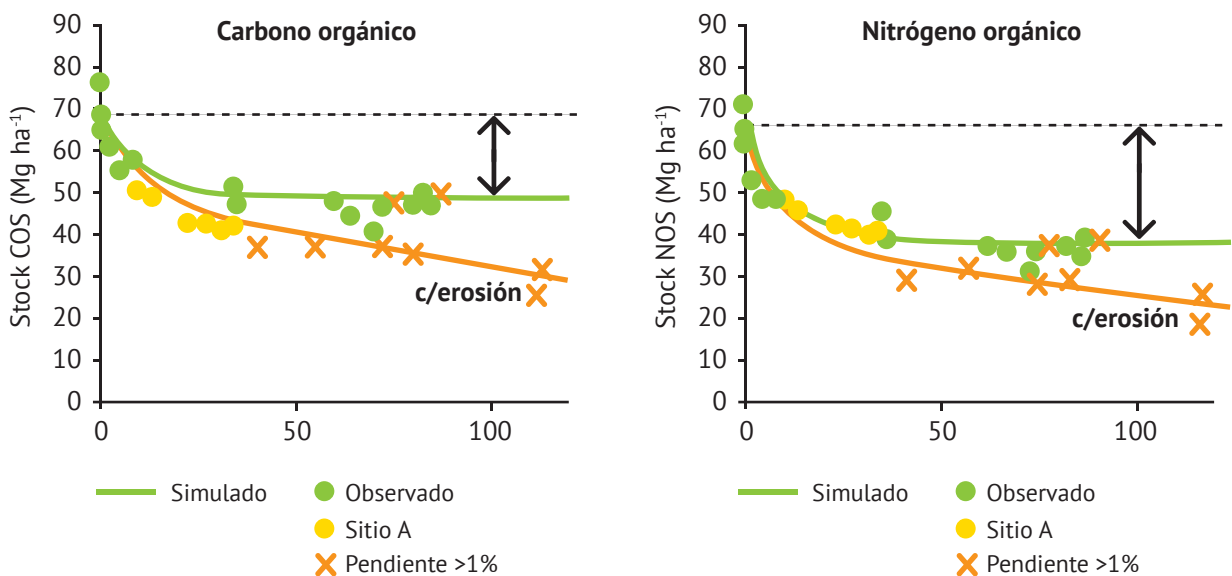


Figura 3. Evolución de las reservas de carbono y nitrógeno del suelo para 80 años de agricultura continua bajo laboreo convencional.

monocultivo de soja (**Figura 5**). Estos últimos años de “agriculturización” nos dejaron un paisaje “sojizado”, con el retorno de procesos erosivos y sedimentos cargados de plaguicidas y nutrientes en los cursos de agua.

En síntesis, tras 120-150 años de agricultura continua, los suelos perdieron, en los sitios no sujetos a erosión, un ~40% de las reservas de MOS del horizonte A. Un 27% se perdió en los primeros 20 años, principalmente, por mineralización biológica de una elevada fracción lábil, provocada por la elevada intensidad de laboreo, y por una importante emisión atmosférica de CO₂, CH₄, CO, N₂O y NO_x, debida a la quema de rastrojos. Los últimos 25 años de este período estuvieron caracterizados por una tendencia hacia el monocultivo de soja (S) transgénica y por el uso intensivo de plaguicidas bajo siembra directa (SD). Considerando solamente los cultivos mayoritarios (maíz -M-, trigo -T-, cebada -C- y S) y suponiendo que luego del T o C la misma superficie es sembrada con S de segunda siembra, la proporción de éstos en la Pampa Ondulada para el período 1990-2016 fue de 1 M : 7 S : 2 T/S (Ministerio de Agroindustria de Argentina, 2016), manifestándose una clara homogenización del paisaje.

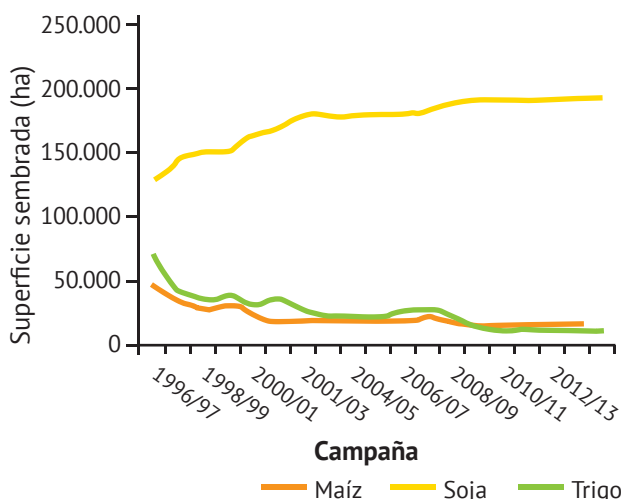


Figura 4. Evolución de la superficie ocupada por maíz, trigo y soja para el período 1996-2014 en el partido de Pergamino.

Las proyecciones confirman que la pérdida de MOS continuará, en caso de permanecer este modelo (Andriulo et al., 1999; Caride et al., 2012; Milesi Delaie et al., 2013, 2014; Irizar et al., 2015).

Como la MOS gobierna la mayoría de las funciones del suelo (principalmente, retención, almacenamiento, reciclado y filtrado), su detrimento desencadena procesos de degradación ambiental con impacto a diferentes escalas espaciotemporales (Weil & Magdoff, 2004; Magdoff & van Es, 2009). La medición de los flujos de agua y sustancias químicas a escala de paisaje y cuenca es el inicio de la generación de posibles soluciones (Laband et al., 2012). En la Pampa Ondulada argentina, donde los sistemas de producción actuales son altamente dependientes de energía, principalmente, debido al uso de plaguicidas y, en menor medida, de fertilizantes, cabe preguntarse cuál es su destino ambiental. Para poder llevar adelante un programa de monitoreo, se necesita contar con cuencas representativas de la geohidrología y producción agropecuaria regional. La elección de cuencas pequeñas, constituidas por cursos de bajo orden, resultan apropiados porque son de bajo caudal y velocidad, conectan ambientes terrestres con grandes ríos y su alta relación superficie/volumen permite que los efectos de los aportes desde la cuenca se reflejen rápidamente. Estudios de largo plazo en una cuenca con estas características, mostraron: a) degradación física de los suelos, reduciendo la infiltración y aumentando la escorrentía y el transporte de sedimentos, nutrientes, fertilizantes y plaguicidas hacia los cursos de agua (Sasal et al., 2010; Darder et al., 2012, 2014; Darder, 2018); b) balances negativos de N, P, K, S y Ca a nivel de cuenca (Milesi Delaie et al., 2015); c) eutrofización del curso de agua (Torti, 2014); d) detección de plaguicidas en el agua superficial y subterránea (Caprile et al., 2016; Reynoso & Andriulo, 2008) y en el suelo bajo diferentes sistemas de producción (Caprile et al., 2018); e) asociación entre los períodos de aplicación de plaguicidas con cambios en variables alométricas de peces (Brodeur et al., 2017). Con mayor detalle, estudios de largo plazo en cajas lisimétricas median-

te la aplicación de técnicas de ^{15}N demostraron que hasta más de un 95% del N-NO_3 lixiviado proviene, principalmente, de la mineralización de la MOS (Portela et al., 2006) y que ésta puede llegar a los $36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en una secuencia M-S. Además, en los mismos dispositivos, Caprile et al. (2017), analizando el movimiento vertical de plaguicidas en el suelo detectó atrazina y acetoclor hasta 3 y 7 años después de la última aplicación, respectivamente.

Por lo expuesto, existen suficientes argumentos para considerar que los sistemas de cultivo predominantes en la región no son ambientalmente sustentables (Manuel-Navarrete et al., 2005) a pesar de los importantes aumentos en la producción (Ministerio de Agroindustria, 2017). En efecto, la agricultura continua provocó el desacoplamiento entre los ciclos de C y los principales macronutrientes (N y P); homogeneizó la estructura del paisaje de manera tal que trajo aparejado la pérdida de hábitats para la conservación de la biodiversidad; afectó los ciclos hidrológicos y modificó el ingreso de sedimentos, nutrientes y plaguicidas en los sistemas adyacentes, con posibles efectos sobre la

salud humana. En paralelo, y no menos importante, el proceso de industrialización de la agricultura ha desligado a la mayor parte de la población de las actividades agrícolas, contribuyendo al desplazamiento de la población rural hacia las ciudades y, en consecuencia, la urbanización de áreas rurales, en muchos casos, de forma no planificada. Posteriormente, como resultado de las múltiples interacciones complejas entre los dominios rural y urbano, y el incremento del sentimiento de preocupación por los impactos y posibles consecuencias de la industrialización agrícola, se inició el debate, en la arena pública, sobre el impacto de algunas prácticas agrícolas. En ciertos casos, se llegó a la creación, modificación y adaptación del sistema legal para gestionar el conflicto (Tacoli, 1998; Adamo, 2012; Meynard et al., 2012; Casella y Del Zotto, 2018). El complejo entramado socio-ecológico y las problemáticas desarrolladas en las interfaces urbano-rurales demandan una pronta acción para cambiar los sistemas de producción evitando que la tierra caiga en desuso, que avance la frontera urbana y, simplemente, se traslade el problema.

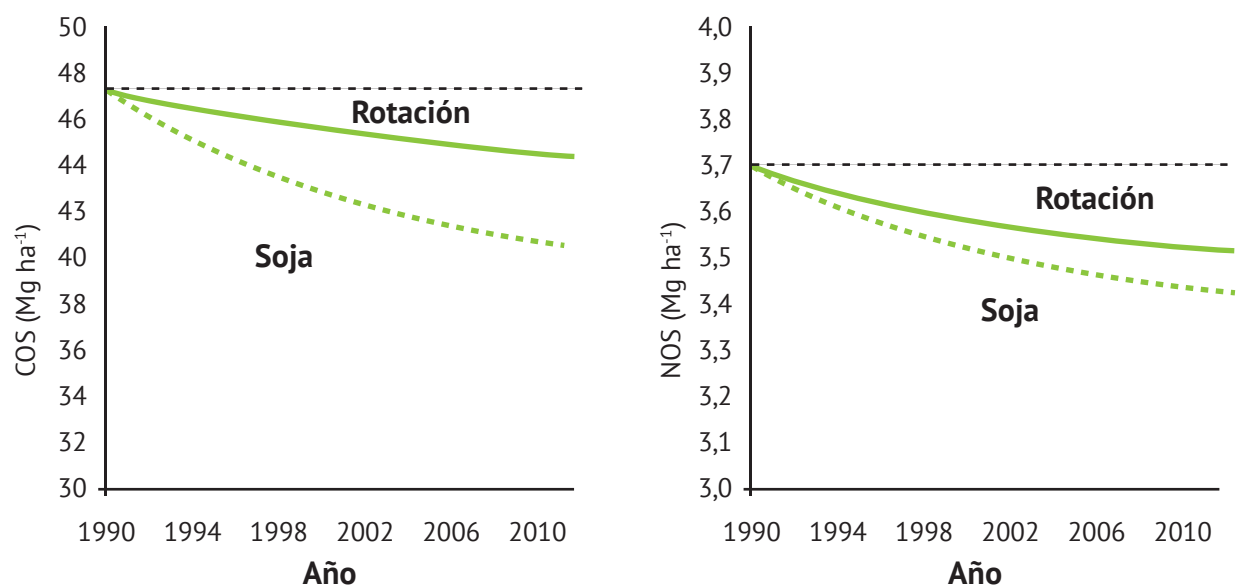


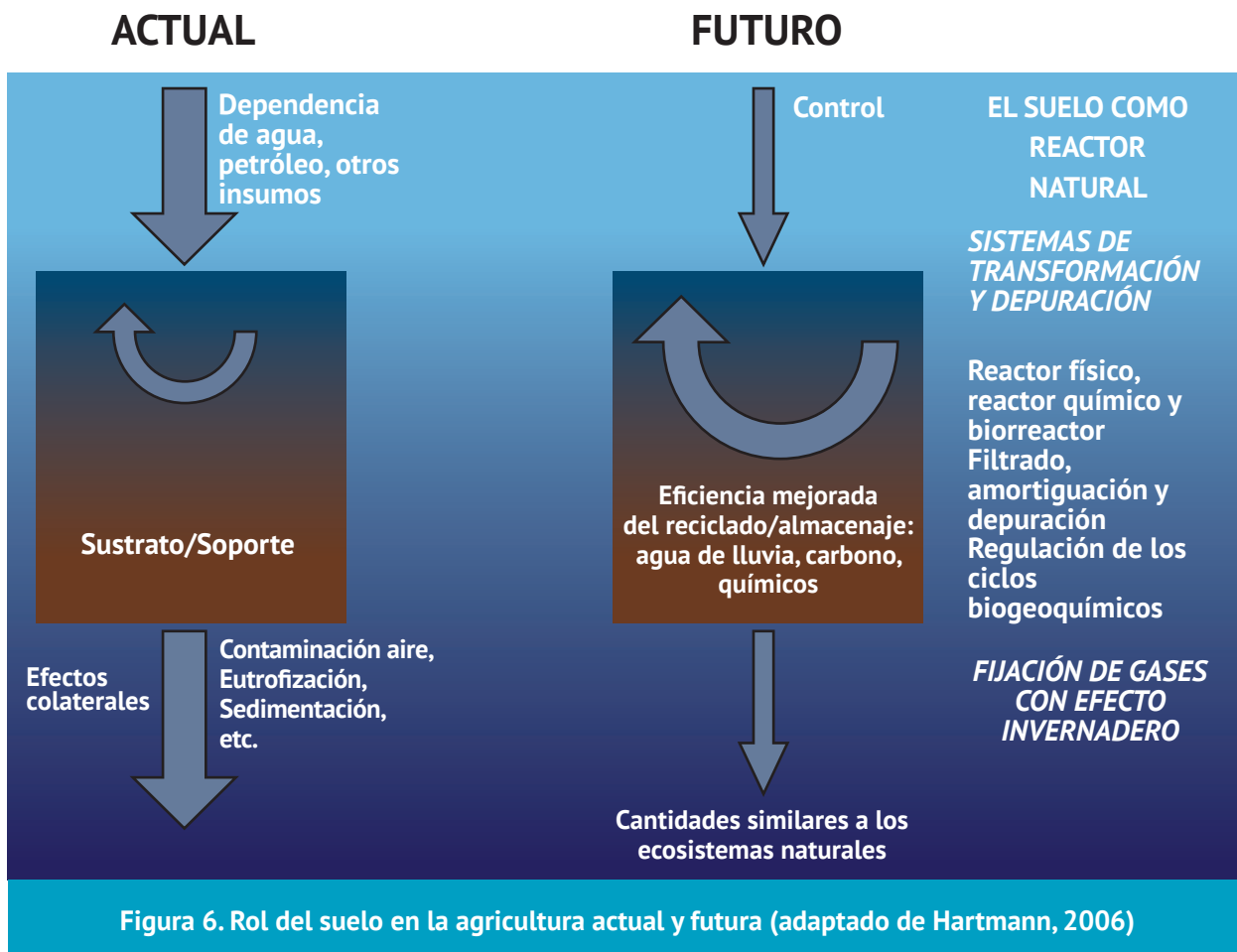
Figura 5. Evolución de las reservas de Carbono y Nitrógeno orgánicos del suelo (COS y NOS) en rotación y monocultivo de soja luego de la introducción de la siembra directa continua en la región.

Luego de haber planteado algunos de los impactos más importantes de la historia agrícola de la Pampa Ondulada, podemos decir que el monitoreo del ambiente superó la etapa de diagnóstico.

Del suelo como soporte al suelo como prestador de servicios ecosistémicos. Elementos para la transición agroecológica

La preocupación mundial por los impactos negativos de los sistemas de producción ha llevado a que paneles de expertos desarrollen informes en donde se resume el estado del arte y se realizan análisis prospectivos sobre manejo del medio ambiente para ayudar a los actores intervinientes en el proceso de toma de decisiones (CMMAD, 1987; MEA, 2005; IPCC, 2014). Entre éstos, el rol del suelo en la

agricultura futura (**Figura 6**) pasa por controlar su dependencia de los insumos, estimular las funciones ecosistémicas del suelo/reactor para disminuir los efectos colaterales de las salidas (Hartmann, 2006). Otra iniciativa internacional es la llamada 4 per mil, la cual sostiene que un aumento en la tasa anual de secuestro del 0,4% por año en el espesor 0-30 cm podría detener el incremento de la concentración de CO₂ relacionada con las actividades humanas en la atmósfera (4p1000, 2017). El mantenimiento de suelos ricos en carbono orgánico, la restauración y mejora de las tierras agrícolas degradadas y, en términos más generales, el aumento del COS, desempeñan un papel importante para abordar el triple desafío de la seguridad alimentaria, la adaptación de los sistemas alimentarios y las personas al cambio climático y la mitigación de emisiones antropogénicas.



En la búsqueda de nuevos sistemas productivos, los sistemas de producción orgánica fueron la primera alternativa. Prueba de ello, son las investigaciones llevadas a cabo por reconocidos institutos como el Rodale de EEUU (en funcionamiento desde 1940) o el FiBL de Suiza (en funcionamiento desde 1973). Más recientemente, la tendencia se focaliza en desarrollar agroecosistemas menos antropizados (bajos inputs, reducción o eliminación del laboreo), multifuncionales y en transición agroecológica. Entendiendo como multifuncional que la agricultura, como actividad económica, no está sólo caracterizada por la producción de bienes de provisión (alimentos, fibra y energía) sino también por la producción de servicios ecosistémicos “benéficos” (secuestro de carbono, control de adversidades, cantidad y calidad de provisión de agua) y de servicios o externalidades (contaminación, pérdida de biodiversidad, emisión de GEI) (OCDE, 2001; Power, 2010). Es decir, que tiendan a controlar la dependencia de recursos no renovables, minimizar el impacto sobre el ambiente y la naturaleza, recuperar la capacidad productiva de los suelos, frenar la expansión de la frontera agrícola sobre suelos marginales y/o reservas de biodiversidad, maximizar la eficiencia de uso de los recursos a través de la optimización de los procesos ecológicos, adaptarse y contribuir a mitigar el cambio climático, promover la innovación tecnológica e institucional, reducir el conflicto en el complejo entramado urbano-rural y permitir la permanencia de la agricultura familiar en el sistema agroalimentario y agroindustrial (Gliessman, 1985, 1990; Altieri, 2002; Adamo, 2012; Tiftonell, 2014).

Actualmente, existe tecnología disponible para adaptar los sistemas de producción actuales y mitigar la pérdida de MOS, aumentar la eficiencia de uso de nutrientes y agua y la captura de nutrientes y carbono. Entre estas tecnologías se encuentran la SD, el alargamiento y diversificación de las rotaciones, la inclusión de cultivos de cobertura (CC), leguminosas, pasturas perennes o temporarias y cultivos perennes de ciclo fotosintético C4, la incorporación de biomasa y carbón pirolítico, exploración radical

profunda (Jobbagy & Jackson, 2000; Arrouays et al., 2002; Lehmann & Joseph, 2009; Lal, 2009; Bertuzzi et al., 2012; Richter & Agostini, 2012; Stockmann et al., 2013; Strullu et al., 2014; Littlejohn et al., 2015; Benoit et al., 2015; Magdoff & van Es, 2009). A nivel local, respecto a las rotaciones, los ensayos de mediano y largo plazo emplazados en la Pampa Ondulada muestran que los Argiudoles típicos bajo SD, en secuencias de cultivo intensificadas y/o diversificadas, habitualmente presentan mejoras en algunas de sus propiedades del horizonte A con respecto a los que se encuentran bajo tendencia al monocultivo de S: a) físicas, mayor estabilidad estructural, reducción de la erosión y escurrimiento; una menor temperatura del suelo y mayor infiltración básica cerca de la superficie (Alvarez y Steinbach, 2009; Alvarez et al., 2010; Sasal et al., 2010; Irizar et al., 2013, 2015); b) químicas, mayor concentración de MOS y fracciones asociados en el espesor 0-5 cm (Alvarez et al., 1998; Lattanzi et al., 2006; Irizar, 2010; Milesi Delaye et al., 2013b; Irizar et al., 2015), a veces, incrementos en la capacidad de intercambio catiónico, particularmente en la secuencia T/S (Irizar et al., 2012) y disminución del pH (Lavado et al., 1999; Andriulo et al., 2007; Irizar et al., 2013); y c) bioquímicas o biológicas (Alvarez et al., 1995; Ferreras et al. 2009; Irizar et al., 2013; Andriulo et al., 2016, D'Acunto et al., 2018). Además, numerosos trabajos muestran el efecto de: a) cultivos de cobertura sobre la reducción de N-NO³ del suelo, el mantenimiento y/o secuestro de COS, mejoras en la funcionalidad microbiana y actividad enzimática (Restovich et al., 2011, 2012, Chavarría et al., 2016a; b; Irizar et al., 2017); b) pasturas perennes sobre el secuestro de COS en el corto plazo (Irizar et al., 2016; 2018); c) enmiendas orgánicas estabilizadas sobre el aumento del COS, la infiltración y la regeneración del sistema poroso del suelo (Gabioud, 2018); d) herramientas tecnológicas viables para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos y proveer un bioinsumo de alta calidad para cubrir las necesidades nutricionales de cultivos bajo manejo agroecológico (Orden y Rodríguez, en este mismo libro) y e) una combinación de algunas de las ante-

rios que demuestran que el uso de cultivos de cobertura, en conjunto con técnicas apropiadas para su secado en el momento óptimo, y el control de malezas durante el ciclo de los cultivos de verano (maíz y soja) constituyen alternativas válidas para la obtención de rendimientos comparables con los de la producción convencional predominante en el área de estudio (Ortiz et al., en esta misma obra).

También se están considerando otros aspectos vinculados al funcionamiento de los agroecosistemas relacionados con la biodiversidad. La “perennización” estratégica del paisaje a través de la incorporación de elementos lineales que interconectan sectores aislados, puede brindar beneficios elevados en relación a la superficie que ocupan. La **Figura 7a** muestra un paisaje de la Pampa Ondulada entrerriana sistematizado con terrazas de absorción construidas para evacuar los excedentes hídricos. Las

terrazas reservorio propuestas, a la derecha de la **Figura 7b**, son particularmente diseñadas para lograr mayor conexión de paños y aumentar la biodiversidad, al brindar hábitats para vertebrados e insectos.

Como salir de los sistemas de producción actuales. Procesos a estimular.

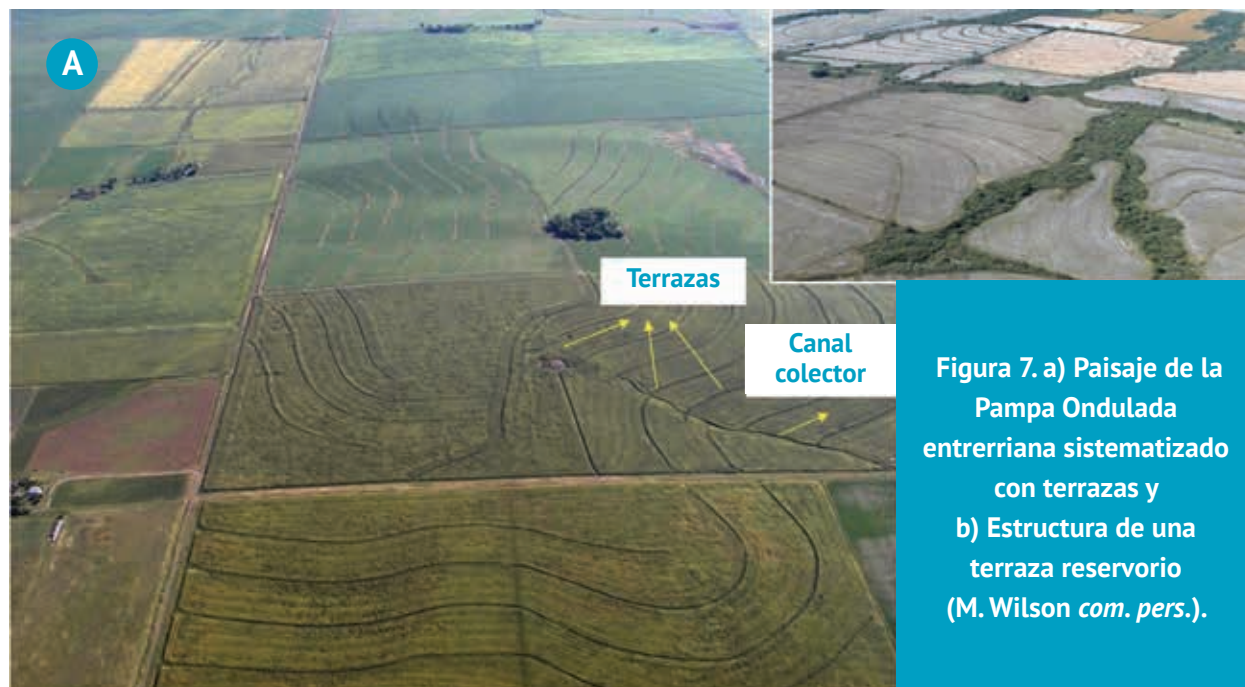
El reto consiste en hacer frente a múltiples y disímiles desafíos, principalmente, asociados a problemáticas ambientales, de seguridad alimentaria y salud, de forma simultánea en un mundo transversalizado por el cambio climático (fuerzas impulsoras). Dentro de estos, reducir el uso de plaguicidas, de combustibles y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mantener y/o mejorar la fertilidad del suelo y la calidad del agua, y cubrir las



Análisis conjunto del impacto de la secuencia de cultivo sobre el perfil de suelo en reunión de intercambio de conocimientos entre técnicos del sector productivo y tecnológico.

demandas de alimento, fibra y combustible de una población que se espera que alcance a 9 mil millones de personas para el 2050, son los más urgentes (MEA, 2005; Meynard et al., 2012; FAO, 2015). Algunos autores sugieren que esto solo será posible si los sistemas agropecuarios cambian a la vez que

lo hacen los hábitos alimenticios de la población (Foley et al., 2011). Para alcanzar el desarrollo sustentable resulta prioritario iniciar una transición hacia la sustentabilidad en donde se atiendan las necesidades de la población, reduciendo el hambre, la pobreza y manteniendo los sistemas de soporte



del planeta (Parris & Kates, 2003). Esto solo será posible si se concibe al mundo, región o comunidad como un sistema socio-ecológico producto de la interacción de los factores físicos, ecológicos, culturales y económicos. En éste, el hombre depende de los recursos y servicios de los ecosistemas y su dinámica está impactada, en distinto grado, por las actividades humanas. Para ello, las actividades agrícolas deberían organizarse, complementarse y coexistir con otros usos del espacio, con otras actividades rurales y mejorar la calidad de vida de los residentes y visitantes (Chapin et al., 2009). Además, el escalamiento de innovaciones debería tener en cuenta interacciones complejas entre los factores biofísico, social, económico e institucional. En la transición hacia una agricultura sostenible, la evaluación multicriterio (ecológica, social y económica) *ex ante* y *ex post* de tecnologías y prácticas, resulta un prerrequisito para incrementar la eficiencia y lograr innovar responsablemente (Lançon et al., 2007; Wigboldus et al., 2016).

Además, el escalamiento de innovaciones debería tener en cuenta interacciones complejas entre los factores biofísico, social, económico e institucional. En la transición hacia una agricultura sostenible, la evaluación multicriterio (ecológica, social y económica) *ex ante* y *ex post* de tecnologías y prácticas, resulta un prerrequisito para incrementar la eficiencia y lograr innovar responsablemente.

Los agrónomos construirán métodos eficaces para reunir conocimientos locales, para comprobar los resultados y, finalmente, volver a diseñar experimentos. Los sistemas agrícolas innovadores se beneficiarán de una estrecha colaboración entre los científicos y los agricultores (Lichtfouse et al., 2009).

Bibliografía

- Adamo SB. 2012. The Growing Importance of Urban–Rural Interfaces: Current Demographics and Their Future Implications. In *Urban–Rural Interfaces: Linking People and Nature* (Laband DN, Lockaby BG, Zipperer WC eds). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Crop Science Society of America, pp. 1-13.
- Altieri MA. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93(1–3): 1-24
- Álvarez CR, Micucci FG, Bustingorri C, Taboada MA. 2010. Pedotransfer functions to estimate proctor test parameters under different tillage systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34:1787-1793.
- Álvarez R, Díaz RA, Barberob N, Santanatoglia OJ, Blotta L. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil and Tillage Research* 33: 17-28.
- Álvarez R, Russo ME, Prystupa P, Scheiner JD, Blotta L. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agronomy Journal* 90: 138-143.
- Álvarez R, Steinbach H. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research* 104: 1-15.
- Andriulo AE, Guérif J y Mary B. 1999. Evolution of soil carbon with various cropping sequences on the rolling pampas. Determination of carbon origin using variations in natural ¹³C abundance. *Agronomie* 19: 349-364.
- Andriulo A, Sasal MC, Irizar AB, Restovich SB, Rima-

- tori F. Efecto de diferentes sistemas de labranza de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos. In Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de Argentina (Galantini JA ed). EdiUNS, UNS, AACS, Departamento de Agronomía de la UNS y CERZOS, CONICET-UNS 2007, pp 117-29.
- Arrouays D, Balesdent J, Germon J, Jayet P, Soussana J, Stengel P (Eds). 2002. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France? Expertise Scientifique Collective. INRA.
- Benoit M, Garnier J, Billen G, Tournebize J, Gréhan E, Mary B. 2015. Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an organic and a conventional cropping system (Seine basin, France). *Agriculture, Ecosystems & Environment* 213 (2015) 131–141.
- Bertuzzi P, Justes E, Les Bas C, Mary B, Souchère V. 2012. Effets des cultures intermédiaires sur l'érosion, les propriétés physiques du sol et le bilan carbone. In Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaire: Conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques, pp 1-28.
- Blum WEH. 2013. Soil and land resources for agricultural production: General trends and future scenarios-A worldwide perspective. *International soil and water conservation research*, Vol 1, 3, pp. 1-14.
- Brodeur JC, Sanchez M, Castro L, Rojas DE, Cristos D, Damonte MJ, Poliserpi MB, D'Andrea MF, Andriulo AE. 2017. Bioaccumulation of current-use pesticides, cholinesterase inhibition and altered energetics in juvenile one-sided livebearer fish, *Jenynsia multidentata*, from an agricultural region. *Chemosphere* 185 (2017) 36-46.
- Caprile AC, Aparicio VC, Sasal MC, Andriulo AE. 2016. Detección de atrazina, glifosato y AMPA en el arroyo Pergamino. Actas del XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 27 de Junio al 01 de Julio, Río Cuarto (AR). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS).
- Caprile AC, Aparicio V, Portela SI, Sasal MC, Andriulo AE. 2017. Drenaje y transporte vertical de herbicidas en dos molisoles de la Pampa ondulada Argentina. *Revista de la Ciencia del Suelo* 35(1) 147-159.
- Caprile AC, Andriulo AE, Sasal MC, Repetti MR. 2018. Plaguicidas en el perfil del suelo. Comparación de sistemas de producción agrícola. Actas del XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 15-18 de Mayo, Tucumán (AR). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS).
- Caride C, Piñeiro G, Paruelo JM. 2012. How does agricultural management modify ecosystem services in the argentine Pampas? The effects on soil C dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 154: 23-33.
- Casas R, Albarracín GF. 2015. El deterioro del suelo y del medio ambiente en Argentina. FECIC-MINAGRO-INTA, Tomos I y II, 608 y 456 pp. ISBN: 978 – 950 – 9149 – 40 – 3.
- Casella AP, Del Zotto AC. 2018. La salud humana y el régimen legal de aprobación y control de plaguicidas. In Plaguicidas en el ambiente (Aparicio V, Gonzalo Mayoral ES, Costa JL eds). Ediciones INTA.
- Chapin FS, Folke C, Kofinas GP. 2009. A Framework for Understanding Change. In *Principles of Ecosystem Stewardship. Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World* (Chapin FSI, Kofinas GP, Folke C eds.). Springer Science+Business Media, pp. 3-28.
- Chavarría DN, Verdenelli RA, Muñoz EJ, Conforto C,

- Restovich SB, Andriulo AE, Meriles JM, Vargas-Gil S. 2016a. Soil microbial functionality in response to the inclusion of cover crop mixtures in agricultural systems. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 14(2).
- Chavarría DN, Verdenelli RA, Serri DL, Restovich SB, Andriulo AE, Meriles JM, Vargas-Gil S. 2016b. Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. *European Journal of Soil Biology* 76: 74-82.
- CMMAD. 1987. Nuestro futuro común. Informe Brundtland. Alianza Editorial, Madrid.
- Colomé RA. 2009. Bosquejo Histórico de la Agricultura en Argentina hasta Fines del Siglo XIX y los Inicios del Siglo XX. Énfasis en la Caracterización del Productor Agrícola. *Revista de Economía y Estadística*. XLVII(2): 97-130.
- Comerford N. 2003. Soil: Largest reactor on the planet? <https://soilsmatter.wordpress.com/2013/12/02/soil-largest-reactor-on-the-planet/>
- D'Acunto L, Andrade JF, Poggio SL, Semmartin M. 2018. Diversifying crop rotation increased metabolic soil diversity and activity of the microbial community. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 257: 159-164.
- Darder ML, Andriulo AE, Castiglioni M, Colombini D, Villalba F, Rimatori F, Dalpiaz MJ, García L, Milesi Delaye LA. 2012. La distancia al curso de agua y la pérdida de elementos por erosión. *Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, Mar del Plata, Buenos Aires.
- Darder ML, Castiglioni M, Sasal MC, Andriulo AE, García L, Dalpiaz MJ, Torti MJ, Colombini D, Villalba F. 2014. Pérdida de agua, sedimentos y nutrientes en Arguidoles con diferentes rotaciones de cultivos. *Actas del XXIV Congreso Argentino la Ciencia del Suelo*. Bahía Blanca, Buenos Aires.
- Darder ML. 2018. Ecurrimiento superficial de la cuenca alta del arroyo Pergamino. Impacto en el uso de la tierra y la posición en el paisaje sobre la calidad del agua y los sedimentos. Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires.
- Dignac M-F, Derrien D, Barré P, Barot S, Cécillon L, Chenu C, Chevallier T, Freschet GT, Garnier P, Guenet B, Hedde M, Klumpp K, Lashermes G, Maron P-A, Nunan N, Roumet C, Basile-Doelsch I. 2017. Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37 (2), art. no. 14.
- FAO. 2015. El suelo es un recurso no renovable. Food and Agriculture Organization. Disponible en fao.org/soils-2015.
- Foley JA, Ramankutty N, Brauman KA, Cassidy ES, Gerber JS, Johnston M, Mueller ND, O'Connell C, Ray DK, West PC, Balzer C, Bennett EM, Carpenter SR, Hill J, Monfreda C, Polasky S, Rockström J, Sheehan J, Siebert S, Tilman D, Zaks DPM, O'Connell C. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478(7369): 337-42.
- Gabioud, EA. 2018. Regeneración de la estructura edáfica y su efecto sobre el ingreso del agua. Evaluación del agregado de enmiendas en Arguidoles bajo SD. Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires, pp. 110.
- Gliessman S. 1985. Multiple Cropping Systems: A Basis for Developing an Alternative Agriculture. *Innovative Biological Technologies for Lesser Developed Countries*: 69-86.
- Gliessman SR. 1990. Agroecology: Researching the

- Ecological Basis for Sustainable Agriculture. In *Ecological Studies. Analysis and Synthesis* (Gliessman SR, ed). vol 78. Springer, New York, NY.
- Hall AJ, Rebella CM, Ghera CM, Culot JPH. 1992. Field Crop systems of the pampas. In *Field Crop Ecosystems* (Pearson CJ ed.), Elsevier. pp.413-450.
- Hartmann C. 2006. Future of soil science. In *The Future of Soil Science* (Hartemink AE ed.). International Union of Soil Sciences. Wageningen. The Netherlands, pp. 57-59.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva.
- Irizar AB. 2010. Cambios en las reservas de materia orgánica del suelo y sus fracciones granulométricas: efecto de la secuencia de cultivo, del sistema de labranza y de la fertilización nitrogenada. Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires.
- Irizar AB, Andriulo AE, Mary B. 2013. Long-term impact of no tillage in two intensified crop rotations on different soil organic matter fractions in Argentine rolling Pampa. *The Open Agriculture Journal* 7(1 SPEC.ISSUE.1): 22-31.
- Irizar AB, Milesi Delaye LA, Andriulo AE. 2015. Projection of Soil Organic Carbon Reserves in the Argentine Rolling Pampa Under Different Agronomic Scenarios. Relationship of these Reserves with Some Soil Properties. *The Open Agriculture Journal* 30-41.
- Irizar AB, Milesi Delaye, LA, Andriulo AE, Colombini D, Villalba F. 2016. Introducción de *Miscanthus x giganteus* en la Pampa ondulada: efecto sobre el carbono del suelo. *Actas XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Río Cuarto, Córdoba.
- Irizar AB, Milesi Delaye, LA, Andriulo AE. 2017. ¿Es posible secuestrar carbono en la Pampa ondulada? Alternativas de uso y manejo del suelo. *Revista de Tecnología Agropecuaria* 10 (33): 10-13.
- Irizar AB, Milesi Delaye LA, Giannini AP, Andriulo AE. 2018. Aporte desde la Pampa Ondulada Argentina a la "Iniciativa 4 por mil". *Actas del XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Tucumán.
- Janzen HH. 2005. Soil carbon: A measure of ecosystem response in a changing world? *Canadian Journal of Soil Science*, 85(Special Issue): 467-480.
- Jobbágy EG, Jackson RB. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*: 10:423-436.
- Laband DN, Graeme B, Lockaby G, Zipperer WC. 2012. *Urban-Rural Interfaces: Linking People and Nature*. American Society of Agronomy. 352 p.
- Lal R. 2009. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science* 60(2): 158-169.
- Lançon J, Wery J, Rapidel B, Angokaye M, Gérardaux E, Gaborel C, Ballo D, Fadegnon B. 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 27(2): 101-110.
- Lattanzi A, Arce J, Marelli HJ, Lorenzon C. Efecto de largo plazo de la siembra directa y de rotaciones de cultivos sobre los rendimientos, el carbono y nitrógeno orgánico, en un suelo Argiudol típico en Marcos Juárez. In *Aportes de la ciencia y la tecnología al manejo productivo y sustentable de los suelos del Cono Sur* (Díaz Rossello R, Rava C, eds.). IIICA-PROCISUR 2006: 39-56.

- Lavado RS, Porcelli CA, Alvarez R. Concentration and distribution of extractable elements in a soil as affected by tillage systems and fertilization. *Science of the Total Environment*, 232(3): 185-191.
- Lehmann, J., y S. Joseph. 2009. *Biochar for Environmental Management*. Earthscan, London.
- Lichtfouse E., Navarrete M., Debaeke P., Souchère, V., Alberola, C. and Ménassieu J. 2009. Sustainable Agriculture. A review. *Springer*. 1-7.
- Littlejohn, C., T.J. Curran, R.W. Hofmann, y S.D. Wratten. 2015. Farmland, Food, and Bioenergy Crops Need not Compete for Land. *Solutions Journal* 6(3): 36-50.
- Magdoff, F. y H. Van Es. 2009. *Building Soils for Better Crops. Sustainable Soil Management*. 3rd. Ed. SARE-USDA. 294 pp.
- Manuel-Navarrete D, Gallopín G, Blanco M, Díaz-Zorrilla M, Ferraro D, Herzer H, Laterra P, Morello J, Murmis M, Pengue W, Pineiro M, Podestá G, Satorre E, Torrent M, Torres F, Viglizzo E, Caputo M, Celis A. 2005. Análisis sistémico de la agricultura en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extra-pampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. CEPAL - Naciones Unidas.
- Meynard J-M, Dedieu B, (Bram) Bos AP. 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic* (Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B, eds.). © Springer Science+Business Media Dordrecht, pp. 405-429.
- Michelena R, Irurtia C, Vavruska F, Mon R, Pittaluga A. 1989. Degradación de suelos en el norte de la región pampeana. *Publicación Técnica n°6*, Proyecto de Agricultura Conservacionista. INTA EEA Pergamino.
- Milesi Delaye LA, Irizar AB, Magrín GO, Andriulo AE. 2014. Perspectivas para el stock orgánico del suelo de la Pampa Ondulada bajo diferentes escenarios agronómicos y climáticos. In *Suelos, producción agropecuaria y cambio climático: avances en la Argentina* (Pascale Medina C, Zubillaga MM, Taboada MA, eds.), MAGyP-AACS-AAPA, pp. 67-96.
- Milesi Delaye LA, Caprile AC, Torti MJ, Andriulo AE. 2015. ¿Es la producción agropecuaria de la cuenca superior del arroyo Pergamino la responsable de la degradación de suelos y agua?. *Actas del IV Congreso Internacional de Servicios Ecosistémicos en los Neotrópicos*. Mar del Plata.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Ministerio de Agroindustria. 2017. <https://datos.agroindustria.gov.ar/>
- Moscatelli GN. 1991. Los suelos de la región pampeana. In *El desarrollo agropecuario pampeano* (Barsky O, ed.). INDEC-INTA-IICA, Buenos Aires, 11-76.
- OCDE. 2001. *Multifunctionality. Towards an analytical framework*. (OCDE, Ed.). OCDE. OCDE Publications, Paris.
- Parris TM, Kates RW. 2003. Characterizing a sustainability transition: goals, targets, trends, and driving forces. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14): 8068-8073.
- Portela SI, Andriulo AE, Sasal MC, Mary B, Jobbágy EG. 2006. Fertilizer vs. organic matter contribu-

- tions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas: 15N application in field lysimeters. *Plant and Soil*, 289(1-2): 265-277.
- Power AG. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 365(1554): 2959-71.
- Restovich SB, Andriulo AE, Améndola C. 2011. Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja -maíz: Efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo*, 29(1): 61-73.
- Restovich SB, Andriulo AE, Portela SI. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research*, 128(0): 62-70.
- Reynoso L, Andriulo AE. 2008. Estado actual de la calidad del agua en la cuenca del arroyo Pergamino. *Información Tecnológica* 5(1): 23.
- Richter GM, Agostini F. 2012. Effect of *Miscanthus* on soil organic carbon. *Actas del British Society of Soil Science Annual Meeting*. Nottingham.
- Richter J. 1987. *The soil as a reactor*. Catena Verlag, Cremlingen, Germany.
- Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Chapin FS, Lambin EF, Lenton TM, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber HJ, Nykvist B, de Wit CA, Hughes T, van der Leeuw S, Rodhe H, Sörlin S, Snyder PK, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell RW, Fabry VJ, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley JA. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461(7263): 472-475.
- Sasal MC, Castiglioni MG, Wilson MG. 2010. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. *Soil and Tillage Research*, 108(1-2): 24-29.
- Stockmann U, Adams MA, Crawford JW, Field DJ, Henakaarchchi N, Jenkins M, Minasny B, McBratney AB, de Courcelles V de R, Singh K, Wheeler I, Abbott L, Angers DA, Baldock J, Bird M, Brookes PC, Chenu C, Jastrow JD, Lal R, Lehmann J, O'Donnell AG, Parton WJ, Whitehead D, Zimmermann M. 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 164 (2013): 80-99.
- Strullu L, Beaudoin N, de Cortázar Aauri IG, Mary B. 2014. Simulation of Biomass and Nitrogen Dynamics in Perennial Organs and Shoots of *Miscanthus* × *Giganteus* Using the STICS Model. *BioEnergy Research*, 7(4): 1253-1269.
- Tacoli C. 1998. Rural-urban interactions: a guide to the literature. *Environment and Urbanization*, 10(1): 147-166.
- Tittonell P. 2014. Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature. *Current opinion in environmental sustainability*, 8: 53-61.
- Torti MJ 2014. Estado trófico de un arroyo típico de la Pampa Ondulada y su relación con el uso del suelo de la cuenca. Tesis de Maestría, Facultad de Veterinaria, Universidad Nacional de Buenos Aires.
- Weil RR, Magdoff F. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. In *Soil organic matter in sustainable agriculture* (Magdoff F, Weil RR, eds.). CRC Press, pp. 1-41.
- Wigboldus S, Klerkx L, Leeuwis C, Schut M, Muilerman S, Jochemsen H. 2016. Systemic perspectives on scaling agricultural innovations. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36:46.

CAPÍTULO 1

EN LA BÚSQUEDA DE PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS PARA LA RESTAURACIÓN Y USO SUSTENTABLE DE LOS PASTIZALES NATURALES PAMPEANOS, RECURSOS FORRAJEROS MULTIFUNCIONALES



Alejandra Casal¹



Florencia R. Jaimes²³ (exaequo)



Ariela Cesa¹



María Julia Martinefsky²



José Otondo¹



Adriana Quiñones Martorello²⁴



Agustina Lavarello Herbin⁵



Raúl Pérez⁵



Maximiliano Pérez⁵



Verónica Maldonado May⁶

¹ INTA. Centro Regional Buenos Aires Sur. Estación Experimental Agropecuaria Cuenca del Salado, Argentina.

² INTA. Centro Regional Buenos Aires Sur. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Argentina

³ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, CONICET, Argentina

⁵ INTA. IPAF Región Pampeana.

⁶ INTA Castelar. Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas.

Correo electrónico: casal.alejandra@inta.gov.ar , jaimes.florencia@inta.gov.ar

Resumen

Los pastizales naturales nativos pampeanos son el principal recurso forrajero en los sistemas ganaderos pastoriles del este de la provincia de Buenos Aires (Pampa Deprimida) y en algunos relictos de Pampa Occidental y Pampa Austral. Sin embargo, la plasticidad de algunos cultivos, de la mano de paquetes de insumos que permiten su siembra en áreas no aptas para ello, sumado a la percepción que se tiene de los pastizales como un recurso de baja calidad y rendimiento, han provocado su reemplazo durante la última década. La falta de estrategias para el uso sustentable y conservación está provocando no solamente la degradación y pérdida de servicios ecosistémicos que aporta el pastizal sino también la desaparición del mismo.

A pesar de que mayoritariamente se está degradando el ecosistema de pastizal en la región, existen algunas experiencias novedosas respecto al manejo sustentable del pastoreo. El objetivo a lo largo de este capítulo es identificar las principales prácticas de manejo agroecológico que pueden ayudar a restaurar y/o mejorar la condición del pastizal y, posteriormente, recopilar experiencias locales que favorezcan la productividad, estabilidad y provisión de servicios ecosistémicos. Es posible identificar en estas experiencias un aumento en la disponibilidad forrajera, llegando a incrementar la receptividad ecosistémica entre un 40 y 50 %. La división de potreros en sus respectivos ambientes, permite en parte reducir la heterogeneidad de pastoreo. Por su parte, manejar unos pocos rodeos, permite mantener en descanso varios potreros a la vez y, estacionar los servicios favorece el ajuste a la demanda del rodeo en sus diferentes momentos a la oferta estacional de pasto. El manejo agroecológico del pastoreo toma, entonces, un rol importante en la productividad y condición del pastizal, así como también en sus impactos en el ambiente y la salud del medio rural, y en su economía, por ser una tecnología de bajo costo.

Palabras clave: Ganadería Pastoreo, Sustentabilidad, Servicios ecosistémicos

Summary

Native pampas natural grasslands are the main forage resource in pastoral livestock systems in the eastern part of the Buenos Aires province (Pampa Deprimida) and in some relicts of Pampa Occidental and Pampa Austral. However, the plasticity of some crops, and technological inputs packages allow them to be sown in areas that are not suitable for this, added to the perception that the pastures have as a resource of low quality and yield, have caused their replacement during the last decade. The lack of strategies for sustainable use and conservation is causing not only the degradation and loss of ecosystem services provided by the natural grasslands, but also the disappearance of it.

Although most of the grassland ecosystem in the region is degrading, there are some novel experiences regarding the sustainable management of grazing. The objective throughout this chapter was to identify the main agroecological management practices that can help to restore and /or improve the grassland condition and, later, to collect local experiences that favor the productivity, stability and provision of ecosystem services. It is possible to identify in these experiences an increase in the forage availability, reaching to increase the ecosystemic receptivity between 40 and 50%. Paddocks division in their respective environments, allows in part to reduce the heterogeneity of grazing. For its part, managing a few livestock groups, allows several paddocks to remain at rest at the same time, and adjust mating months favors a balance between cattle nutrient requirements and grassland seasonal forage supply. The agroecological management of grazing takes, then, an important role in the productivity and grassland condition, as well as in its impacts on the environment and the health of the rural environment, and on its economy, as it is a low-cost technology.

Keywords: Livestock, Grazing Sustainability, Ecosystem Services

1. Introducción

La Agroecología, entendida como la aplicación de principios agroecológicos para diseñar y manejar de manera sustentable los agro-ecosistemas (Gliessman 1998) constituye, en la actualidad, un enfoque fundamental para promover el desarrollo de sistemas de producción alternativos, que contemplan las condiciones ambientales y sociales del territorio (Altieri 1995, Sarandón y Flores 2014). En estos agroecosistemas, el hombre forma parte a través de sus decisiones, y, si conoce y respeta el funcionamiento natural de cada componente de ese sistema al cual pertenece, puede sacar provecho productivo de manera sostenible ecológica y temporalmente. Asimismo, puede también favorecer la provisión de servicios ecosistémicos, pudiendo entonces producir alimentos de calidad (Auer et al. 2017, Tiftonell 2014, Miñarro y Marino 2013).

En el Cono Sur de Sudamérica diversos autores han identificado una importante porción geográfica donde se ubican relictos de pastizales templados sub-húmedos que ocupa más de 100 millones de hectáreas en torno al Río de la Plata y su cuenca hidrográfica (Parera et al. 2014). Buena parte de los mismos corresponde a lo que Burkart (1975) y Soriano et al. (1992) denominaron «Pastizales del Río de la Plata» o «Pampas» (Parera et al., 2014). Los pastizales naturales, y en especial los que aún se encuentran en buen estado de conservación, ofrecen una serie de servicios ecosistémicos como la producción de forraje, la disminución de gases de efecto invernadero de la atmósfera y la estabilidad del suelo, a través de la captura de carbono, regulación de contaminantes y excesos hídricos entre otros (Nabinger et al. 2011).

La agriculturización y/o reemplazo de los pasti-

zales por cultivos, forestaciones o pasturas perennes (Baldi et al. 2006, Vázquez et al. 2009), así como el manejo inadecuado de la defoliación sobre la superficie de pastizal restante, han generado cambios en la composición del pastizal pampeano, afectando la dinámica estacional, la calidad forrajera y la biodiversidad (Sala et. al 1986, Facelli 1988, Rusch y Oesterheld 1997, Chaneton et. al. 2002, Lezama et. al 2014) a lo largo de toda la región, presentando al menos un síntoma visible de deterioro. Un síntoma puede ser el reemplazo de las gramíneas por un grupo de herbáceas dicotiledóneas, anuales y perennes, que suelen ser menos preferidas por el ganado (Chaneton 2002, Baldi 2006, Modernel 2011).

Frente a este contexto, la agroecología surge como una alternativa posible para la restauración y uso sustentable de los pastizales naturales, ya que prácticas agroecológicas que minimicen la toxicidad (agroquímicos), optimicen funciones metabólicas del suelo, balanceen sistemas regulatorios (ciclos de nutrientes, balance hídrico) y potencien los recursos naturales y la biodiversidad (Dumont et al. 2013, Bonaudo et al. 2014) implican un análisis más profundo para estos sistemas complejos, con criterios y objetivos más amplios, buscando no sólo la productividad sino también la sustentabilidad, seguridad alimentaria, conservación de los recursos y equidad social (Altieri y Nicholls, 2000).

2. El pastoreo como variable decisiva en la restauración y uso sustentable de los pastizales naturales pampeanos

La decisión sobre el momento y la dinámica de defoliación en los sistemas pastoriles en general (no solamente en el caso de los pastizales naturales sino también en pasturas y verdes) es una variable fundamental en el funcionamiento del sistema, con diferentes impactos sobre suelo, vegetación y animal (Paruelo et al., 2014, Taboada y Micucci 2009, Sala y Paruelo 1997, Lavado et al. 1994, Milchunas y Lauenroth 1993, Oesterheld et al. 1991). En el manejo de los pastizales, la principal herramienta de gestión es el manejo del pastoreo. Es por ello que, para la toma de decisiones es importante estimar la receptividad ecosistémica o capacidad de carga (EV/ha.) de un sistema pastoril, definiendo la misma como la cantidad máxima de animales que puede sostener un ambiente sin ser deteriorado (Irisarri et al. 2013, Golluscio 2009, Vecchio et al. 2008).

Existen distintos sistemas de pastoreo. Se llama método de pastoreo continuo cuando hay presencia continua de animales en el potrero. En cambio, en el sistema de pastoreo rotativo, siempre hay al menos un potrero, en algún momento del año, sin animales. Esto solo resulta insuficiente si no se respeta el tiempo de recuperación de las especies del pastizal, el cual varía según las tasas de crecimiento estacionales (Voisin 1959), considerando, además, que en estos pastizales coexisten diversos grupos forrajeros, alta proporción de especies perennes, (Soriano 1992) y se pueden dar procesos de selectividad por parte del animal. Si bien el pastoreo puede funcionar como regulador de la comunidad al evitar dominancia de aquellas especies con alta capacidad competitiva (Cingolani et al. 2008), también puede llevar al agotamiento de ciertas plantas preferidas

al pastorearlas de manera recurrente, generándose así la muerte de plantas que dejan espacios y recursos, tanto hídricos como de nutrientes, para el avance de especies menos preferidas o indeseables, con estrategias de evasión que les permiten subsistir en la comunidad sin ser consumidas (James et al. 1999 en Cingolani et al. 2008).

En la región pampeana, algunas de las especies más afectadas son las gramíneas, principalmente las especies de ciclo otoño invierno primaveral (OIP), generándose una disminución en la producción de forraje invierno-primaveral (Rusch y Oesterheld 1997) y también un cambio en la estacionalidad de la producción, dado que se modifica la proporción de especies invernales y estivales. En este desbalance de especies, un punto importante a remarcar es que el sobrepastoreo permite el ingreso y la expansión de gramíneas C4, de hábito rastrero y escaso valor forrajero (Jacobo et al. 2006) en desmedro de las especies invernales C3 o leguminosas. Es por ello que en el pastizal, las plantas forrajeras pueden ser notablemente favorecidas si se realiza un control del pastoreo en momentos claves, por ejemplo cuando terminan de acumular reservas, producen semillas o se implantan (Marino, 2008, Casal, 2014). Para realizar un manejo del pastizal agroecológico y sustentable, es fundamental que el pastoreo sea controlado.

En la Pampa Deprimida se han documentado evidencias a favor del pastoreo rotativo planificado y controlado, llamado también manejo adaptativo, en detrimento de los sistemas de pastoreo continuo (Deregibus et al. 1985; Jacobo et al. 2000; Jacobo et al. 2006). Los mismos procesos suceden en los sistemas serranos (Sistema de Tandilia y Ven-

tania), donde además se suman efectos indirectos, tales como la reducción en la frecuencia de fuegos, asociada a la disminución de biomasa combustible (Whelan, 1995 en Cingolani et al, 2008). Por otro lado, un sobrepastoreo en estos sistemas contribuye a la arbustización minimizando la población de especies gramíneas tanto C3 como C4. Nuevamente, las decisiones en cuanto al manejo del pastoreo y, también el fuego, en algunos casos, puede favorecer o afectar la composición de especies del pastizal.

El efecto menos visible de los sistemas de pastoreo, aunque el más importante de todos, se da en el suelo. En concordancia con los principios de la agroecología, que promueven el reciclaje de materia orgánica, el aumento de la actividad biológica del suelo, la minimización de las pérdidas de energía, nutrientes, agua y recursos genéticos, la regeneración del suelo, promover la sinergia de organismos, y la biodiversidad para la autorregulación de los organismos nocivos y el aumento de la resiliencia (Altieri y Nicholls, 2000), el pastoreo controlado o manejo adaptativo favorece todos esos principios. De hecho, en los pastizales, no se puede concebir la regeneración de tierras sin la presencia de herbívoros. Los mismos, al pastorear con cargas instantáneas elevadas, aprovechan la biomasa aérea, incorporan mantillo o broza mediante el pisoteo, excretan y orinan, incorporando al suelo grandes cantidades de materia orgánica y microorganismos responsables de la descomposición de los restos vegetales, aumentando además, la infiltración de agua (Semmartin et al. 2001).

Cuando los animales pastorean respetando los tiempos de recuperación de las distintas especies forrajeras a promover, se genera un sistema radicular extenso aumentando los exudados radiculares, con microorganismos asociados a las raíces como rizobium y micorrizas, las cuales a su vez están asociadas a distintas bacterias auxiliares (hiper-simbiosis) que solubilizan nutrientes mediante distintas enzimas, que de otra manera no estarían disponibles para las plantas (Jones, 2014, Jansa et al., 2013). Se calcula que hasta el 40-50% de los fotosintatos son exudados de manera directa (vía

del carbono líquido) a través de la raíces para alimentar a las micorrizas, para que estas aumenten su actividad biológica y generen un crecimiento de 10 al 20% más rápido que plantas no colonizadas (Jones C., 2008).

Cuando ocurre el pastoreo, la remoción de la biomasa aérea genera la pérdida de parte del sistema radicular para favorecer el rebrote (Grimoldi y Richards, 1993). De esta manera, la acumulación de carbono aumenta hacia capas más profundas. En estudios previos para otros lugares del mundo, se ha documentado aumentos de carbono no lábil, de cadena larga, en la capa de 10-20 cm del orden del doble, de 20-30 cm del triple y de 30-40 cm del cuádruple. Estos resultados se obtuvieron mediante el manejo adaptativo del pastizal, favoreciendo la cobertura del suelo para maximizar la conversión de energía solar a fotosintatos y la suspensión en el uso de fertilizantes sintéticos de alta solubilidad. Todo esto llevó a poder duplicar la carga animal a la vez que se aumenta la fertilidad del suelo, la capacidad de retención del agua, el reciclaje de nutrientes, etc. (Jones C. 2011).

El efecto menos visible de pastoreos poco controlados también se da en el suelo. Los animales pisotean el suelo y consumen la biomasa vegetal que los protege, incrementando el efecto de la erosión cuando la carga animal es excesiva (Cingolani et al., 2008). Los sistemas radiculares de las plantas sobrepastoreadas permanecen a baja profundidad, aportando materia orgánica solo en los primeros 10-20 cm, siendo ésta, materia orgánica lábil, de cadena corta. A su vez, bajo condiciones de presión de pastoreo alto al disminuir la cobertura vegetal, se incrementa la proporción de suelo desnudo y, en consecuencia, la evaporación del agua principalmente en verano. El ascenso del agua por capilaridad también lleva las sales disueltas hacia la superficie, provocando la salinización del suelo (Marino, 2008).

3. Prácticas agroecológicas para la sustentabilidad del pastizal natural y los sistemas de producción de carne pampeanos

Para este escenario, donde la ganadería en base pastoril, actividad que implica un menor grado de alteración de los sistemas naturales, juega un rol central en el desarrollo de sistemas que provean bienes pero que también conserven y prioricen la provisión de servicios ecosistémicos, es necesario un cambio de planteo en el manejo del pastoreo para aumentar la eficiencia del sistema y la persistencia del recurso pastizal. Es claro que, entender cómo el pastoreo y el comportamiento animal afectan la estructura, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos provistos por los pastizales no es fácil, pero la heterogeneidad parece ser la llave para maximizar la biodiversidad y el rol del animal en pastoreo (Parsons y Dumont 2003).

3.1 Identificación y caracterización de los ambientes de pastizal

Para poder planificar un manejo adecuado y consciente de nuestros pastizales debemos identificar ambientes, sus especies claves, y conocer sus características sobresalientes. La Subregión de la Pampa Deprimida está conformada por la Cuenca del Salado y la Depresión de Laprida, cada una con sus particularidades en cuanto a topografía. En el caso de la Cuenca del Salado, puede describirse una toposecuencia que determina, en función de las propiedades edáficas y de la dinámica de anegamientos y salinidad, la presencia de las distintas unidades de vegetación (**Figura 1**). De esta manera, se pueden identificar cuatro grandes unidades con comunidades diferenciadas principalmente por su respuesta al exceso de humedad permanente o pre-

sencia de sales, denominadas Pradera de Mesófitas (Lomas), Pradera Húmeda de Mesófitas (Medias Lomas), Pradera de Hidrófitas (Bajos Dulces) y Estepa de Halófitas (Bajos alcalinos) (Burkart et al. 2005).

Los sectores más elevados del paisaje (Lomas) han sido reemplazados por agricultura en la mayoría de los casos. Es frecuente verlos ocupados por pasturas y verdeos y, raramente, conserven el pastizal. En el caso de utilizarlos en ganadería, éstos son los sectores seguros en casos de inundación. Las comunidades de las Praderas de Mesófitas están compuestas principalmente por especies perennes, de ciclo otoño invierno primavera, como la flechilla brava (*Nassella neesiana*) y la flechilla mansa (*Nassella papposa*), o de mayor preferencia animal y mayor valor forrajero como *Poa lanígera*. También pueden encontrarse especies de ciclo primavera estival como pasto miel (*Paspalum dilatatum*), o el plumerillo (*Bothriochloa laguroides*) de gran valor forrajero. También integran la comunidad especies de ciclo anual, invernales como la cebadilla criolla (*Bromus unioloides o catharticus*), que puede tener un ciclo bianual con un correcto pastoreo, presente en suelos de alta calidad, o el raigrás criollo (*Lolium multiflorum*), especie exótica naturalizada muy frecuente en las praderas húmedas de mesófitas, aunque también en las praderas de hidrófitas, con la salvedad de ser sensible a los excesos de agua; o especies anuales estivales como la cola de zorro (*Setaria parviflora o geniculata*). Las Praderas Húmedas de Mesófitas (Media Loma) están compuestas casi por las mismas especies dentro de la comunidad, sólo que ocupan potreros más tendidos (terrenos planos de escasa pendiente), con algunas limitaciones edáficas, y son un poco menos productivas.

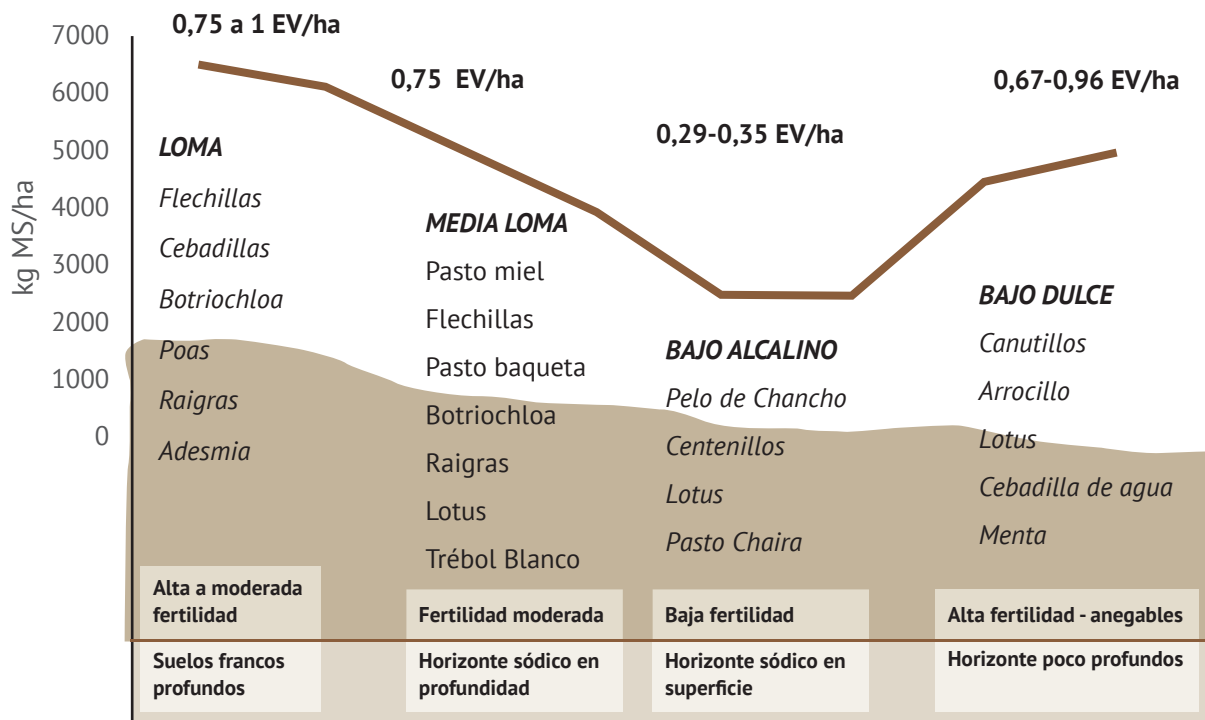


Figura 1. Toposecuencia típica del norte de la Cuenca del Salado, con especies vegetales predominantes (nombre vulgar) y valores estimados promedio de Producción (Kg MS/ha/año; curva) y Receptividad (EV/ha/año).

En las partes más bajas, encontramos la comunidad de hidrófitas (Pradera de Hidrófitas) en los bajos anegables, de horizontes superficiales poco profundos y, en general, alta fertilidad, dominada por especies de verano de muy buena calidad nutricional, utilizadas principalmente para forraje a la salida de primavera y durante el verano (Burkart et al. 2005, León et al 1998, Cid et al. 2011). Allí contamos con especies como el arrocillo (*Leersia hexandra*) o el canutillo (*Paspalidium paludivagum*), especies perenne primavera estival, y la cebadilla de agua (*Glyceria multiflora*), especie perenne de ciclo invernal. En estos ambientes es frecuente encontrar el lotus (*Lotus tenuis*), leguminosa naturalizada, perenne de ciclo primavera estival, y de alto valor forrajero. En la topografía más baja, se encuentra la comunidad de halófitas (Estepa de Halófitas). Estos ambientes son conocidos como de “barro blanco” o

de “pelo de chancho” (*Distichlis spicata* y *D. scoparia*), por ser esta su especie dominante, pudiendo acumular entre 2000 a 2500 kg MS/ha/año y tolerar altos niveles de sodio y sales en superficie, característico de estos ambientes. Debido a ello, son los ambientes menos productivos. Sin embargo, cuando están bien manejados, pueden aparecer otras especies como el espartillo (*Sporobolus indicus*) que es una especie perenne de ciclo estival, frecuente en pastizales de ambientes más altos. También, *Lotus tenuis*, *Leersia hexandra* y *Glyceria multiflora* pueden encontrarse en ambientes alcalinos, que han sido bien manejados mediante descansos estivales y diferimiento del pastoreo al otoño. Al cubrirse el suelo durante el verano bajan la salinidad y el pH y aumenta la infiltración de agua favoreciendo el crecimiento de dichas especies de mayor calidad forrajera (Roitman y Preliasco, 2012).

La Depresión de Laprida también presenta una toposecuencia, que determina sectores más o menos susceptibles de anegamiento y a la salinidad, pero incorpora además limitaciones edáficas asociadas a la presencia de tosca (Figura 2). En las partes más altas y mejor drenadas del paisaje están ocupadas por dos comunidades de un pastizal alto, pobre en especies dominado por una flechilla (*Nassella bertrandii*) en la Comunidad I, y un pastizal muy diverso con otra flechilla (*Nassella trichotoma*) como especie dominante en la Comunidad II. Las partes bajas, pobremente drenadas están ocupadas por un mosaico de tres comunidades: la comunidad IV es una vega o prado húmedo con *Eleocharis bo-*

nariensis y arrocillo (*Leersia hexandra*), la comunidad V es una estepa halófila con “pelo de chancho” (*Distichlis spp.*) y un pastizal intermedio entre ambas dominado por *Nassella formicarum* y *Distichlis spicata* es la comunidad III.

Ubicados en el centro de la Pampa Deprimida (principalmente en los partidos de Ayacucho, Rauch, Azul y Tapalqué), también pueden encontrarse fragmentos de la comunidad del “Paspaletum” (Verveorst 1967, Bilenca y Miñarro 2004), conocidos como “Pajonales de Paja Colorada”. Las especie C4 que domina en estos pajonales es *Paspalum quadrifarium* que puede encontrarse en lomas, medias lomas y bajos dulces dándole a estas comunidades

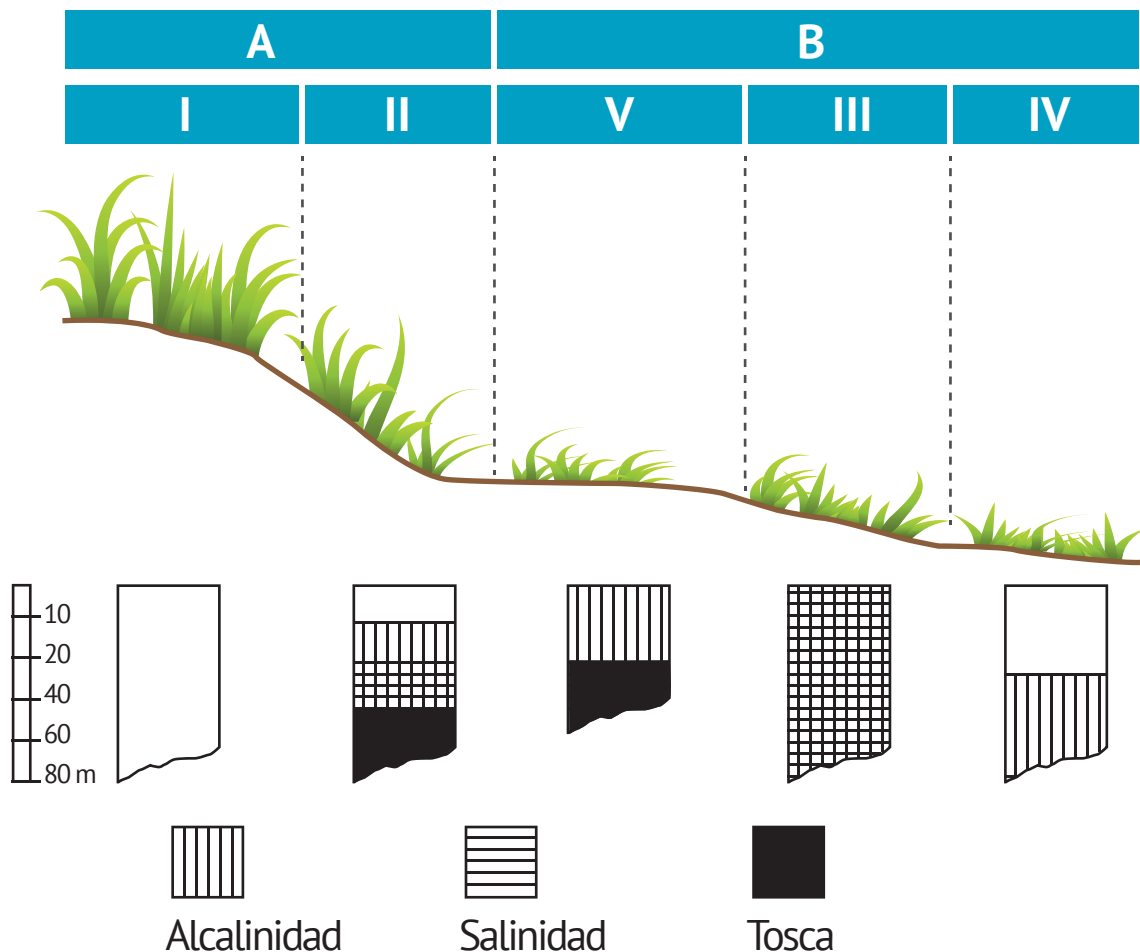


Figura 2. Toposecuencia de la Depresión de Laprida, principales limitantes edáficas. Reelaborado a partir de Batista et al, 2005.

una fisonomía característica (Herrera et al 2005), presentando valor forrajero tras pastoreos intensos o quemas controladas (Latterra et al 2003). Los disturbios favorecen la llegada de luz a la inter mata y, en consecuencia, es posible la proliferación de especies forrajeras de alta calidad y palatabilidad (gramíneas, juncáceas y leguminosas entre otras). La paja colorada posee una alta capacidad de exploración del suelo por lo que, durante las sequías, resulta un recurso forrajero clave (Roitman y Preliasco 2012).

La Subregión Pampa Austral es la unidad más Austral de los Pastizales del Río de la Plata y se encuentra conformada por los sistemas montañosos de Tandilia y Ventania (donde todavía se mantienen especies nativas del pastizal serrano) y las llanuras inter-serranas (Herrera y Sabatino, 2010, Jaimes et al. 2014). Las sierras y cerrilladas presentan una biodiversidad distintiva, albergan más de 400 especies de plantas vasculares y una gran riqueza de endemismos (Frangi y Barrera 1996, Kristensen y Frangi, 1996). Algunas de las comunidades que conforman los ambientes serranos son los “flechillares” (*Nassella neesiana*, *Nassella trichotoma*, *Piptochaetium montevidense*), pajonales de paja colorada (*Paspalum quadrifalium*), arbustales de curro (*Colletia paradoxa*, *Baccharis coridifolia* y *Baccharis dracunculifolia*) (Soriano et al. 1991, Cabrera 1976, Frangi 1975, Frangi y Bottino 1995, Frangi y Barrera 1996, Valicenti et al. 2010, Alonso et al. 2009, Yagueddú 2006) y roquedales, donde abundan arbustos, helechos y líquenes (Lavornia et al. 2012).

3.2 Diagnóstico del pastizal

3.2.1. Composición florística y especies indicadoras del pastizal

Ante cualquier situación de planificación forrajera, se requiere, en primer lugar, la caracterización y evaluación del ambiente a manejar. El primer paso para planificar las prácticas de manejo, es evaluar la condición en la que se encuentran las

unidades de vegetación del pastizal presentes en el establecimiento en estudio. Para ello es necesario desarrollar la capacidad de observación del paisaje y conocer las “especies indicadoras” que nos auxilian en la evaluación de pastizales, teniendo bien presente la escala de percepción que deberá utilizarse (Chaneton, 2005). Una primera aproximación del estado del pastizal, puede hacerse a partir de la determinación de los distintos grupos funcionales. Los pastizales pampeanos se encuentran dominados por gramíneas, con una participación variable de especies exóticas en función al manejo que se esté realizando, sumado a variables ambientales. Las situaciones más deterioradas y de menor valor forrajero presentan especies rastreras, tanto de gramíneas como de dicotiledóneas, y con menor cobertura vegetal.

De la mano de aspectos estructurales como la cobertura, debemos analizar la composición florística y la relación de la misma con indicadores de deterioro, uso adecuado y pautas de manejo. De esta forma, la información morfológica de algunas especies como *Chaetotropis elongata*, *Hordeum stenotachys*, *Nassella neesiana*, *P. dilatatum*, *Sporobolus indicus* y *Lolium multiflorum* (raigrás anual), han sido empleadas para definir estrategias de pastoreo de uso estacional (Lemaire y Agnusdei 2000). Como ya se ha planteado, el pastoreo continuo del pastizal ha afectado la composición florística, evidenciando una reducción en la especies invernales y un aumento de especies dicotiledóneas y gramíneas C4 que se comportan como invasoras (i.e. *Cynodon dactylon* ó “gramón”) (Jacobo et al., 2006), trayendo consecuencias sobre el desempeño productivo y reproductivo animal (Deregibus et al., 1995). La presencia abundante de plantas en roseta puede indicar que, durante el invierno, ese potrero fue sobrepastoreado, determinando un aumento del porcentaje de suelo desnudo, favoreciendo la entrada malezas como Cardos, Abrepuños, Senecios, etc.. Por su parte, el gramón (*Cynodon dactylon*) también puede indicar sobrepastoreo estival, que podría ser revertido dejando mayor remanente de especies invernales durante primavera, es decir con sombreos

de primavera (época de rebrote) y otoño (época de partición de reservas a estolones y rizomas) (Roitman y Preliasco 2012, Pérez et al., 2015). Para evaluar los estados transicionales del pastizal, es necesario identificar las especies indicadoras y evaluar su condición (Tabla 1).

3.2.2. Variabilidad temporal de la producción forrajera

Una de las variables más importantes que describen el funcionamiento de la vegetación es la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA). Se define como la tasa de asimilación del carbono atmosférico por los vegetales, es decir, el cambio en el peso neto de las plantas entre dos puntos en el tiempo (Paruelo et al. 2000). Es una variable clave en los sistemas pastoriles ya que representa la

tasa de creación de nueva biomasa vegetal aérea por unidad de área y tiempo (Heitschmidt y Stuth 2000), y por lo tanto, es una medida directa de la generación de energía disponible para los herbívoros. Además del pastoreo, otros factores que pueden modificarlas son las precipitaciones, la temperatura, la fertilidad edáfica, el tipo de vegetación y/o el fuego, entre otras. Hidalgo y Cahupé (1991) reportaron un pico de máxima productividad entre la primavera y el otoño temprano concentrando entre el 60 y el 70% de la producción total (Figura 1).

En los últimos años, numerosos estudios han desarrollado la estimación de la PPNA a partir de información provista por imágenes satelitales (Grigera et al. 2007, Irisarri et al. 2013). Entre los principales índices utilizados encontramos el Índice Verde Normalizado (IVN), el cual se encuentra íntimamente relacionado con la PPNA (Monteith 1994,

Condiciones de degradación o conservación de los pastizales naturales

Especies Indicadoras

Sobrepastoreo en invierno	Cardos (<i>Cirsium vulgare</i> , <i>Carduus acanthoides</i>) Abrepuño (<i>Centaurea melitensis</i>) Diente de León (<i>Leontodon taraxacoides</i>) Senecio (<i>Senecio sellioi</i>) <i>Eryngium nudicaule</i>
Sobrepastoreo en verano	Gramón (<i>Cynodon dactylon</i>) Pasto colchón (<i>Stenotaphrum secundatum</i>) Setaria geniculata (<i>Setaria parviflora</i>)
Pastoreo con descansos en comunidades de Loma y Media Loma	Pasto Miel (<i>Paspalum dilatatum</i>) Flechilla mansa (<i>Nassella neesiana</i>) Briza (<i>Briza subaristata</i>) <i>Melica brasiliensis</i> <i>Piptochaetium montevidense</i>
Pastoreo con descansos en comunidades de Bajos Dulces y Alcalinos	Canutillos (<i>Leersia hexandra</i> y <i>Paspalidium paludivagum</i>) <i>Poa lanígera</i> Esparto (<i>Sporobolus indicus</i>)

Elaborado a partir de Roitman y Preliasco, 2012 y Parera y Carriquiry, 2014

Tabla 1. Especies indicadoras de sobrepastoreo y uso adecuado del pastizal (elaborado a partir de Roitman y Preliasco, 2012 y Parera y Carriquiry, 2014)

Goward et al 1994), y ha sido empleado mundialmente para caracterizar el funcionamiento de los recursos forrajeros (Soriano et al 1992, Paruelo et al 2000, Piñeiro et al 2006, Grigera et al 2007, Irisarri et al 2014). Una fuente de información disponible sobre la PPNA de distintas áreas ecológicas del país se puede encontrar en la siguiente página: <http://www.produccionforrajeros.org.ar/>.

A partir de estas imágenes se puede realizar el seguimiento del valor de IVN a lo largo del año y realizar comparaciones entre años, estableciéndose la anomalía de la vegetación (valor de IVN para una fecha determinada comparado con el valor para el promedio histórico para el mismo momento del año) (Cesa et al. 2016 y 2017). La comparación del año en curso, respecto de la media y de años particulares nos permite establecer relaciones y poder definir algunas pautas de manejo, adecuando la carga, modificando el uso de los potreros o recurriendo a la suplementación cuando la biomasa disponible resulta marcadamente inferior al promedio de los años.

En relación a ello, la Fundación Vida Silvestre Argentina y el Instituto de Clima y Agua (INTA Castelar) han realizado una experiencia en la Bahía de Samborombón, específicamente en el Partido de General Lavalle. En tres establecimientos de la zona se estimó la PPNA anual y su variación entre años a partir de información provista por imágenes satelitales de resolución espacial intermedia y alta resolución temporal (en este caso NOAA AVHRR) visitas a campo e información provista por el productor. La PPNA en este caso fue un insumo para, finalmente, establecer el balance forrajero (**Figura 3**), herramienta clave para evidenciar los momentos de déficit y excesos de forraje durante el año. La información se puede encontrar en: <http://www.fvsa.org.ar/pastizales/camposganaderos/acerca.htm>.

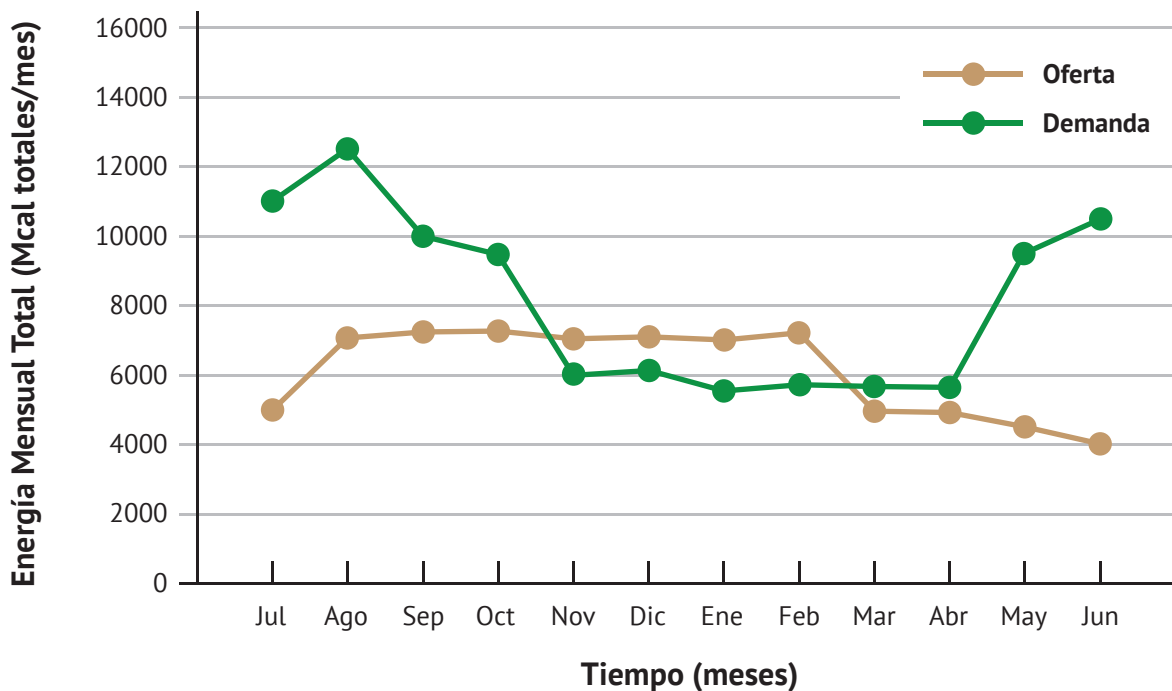
La información provista por los balances forrajeros es una herramienta útil y complementaria para identificar cuáles son las principales dificultades en los sistemas de producción de carne estudiados. Por ejemplo, en el lote 1 de la **Figura 3.a** es posible evidenciar 7 de 12 meses en donde el pastizal no

aporta la energía necesaria para los requerimientos de los animales (abril a noviembre) evidenciando un sobrepastoreo del recurso, logrando su degradación y, afectando la performance del rodeo. En el caso del lote 2 (**Figura 3.b**) se puede observar un subpastoreo casi permanente (desde julio a marzo) por lo que los requerimientos de los animales se cumplen pero el nivel de defoliación no es el adecuado y también se favorece a la degradación del pastizal.

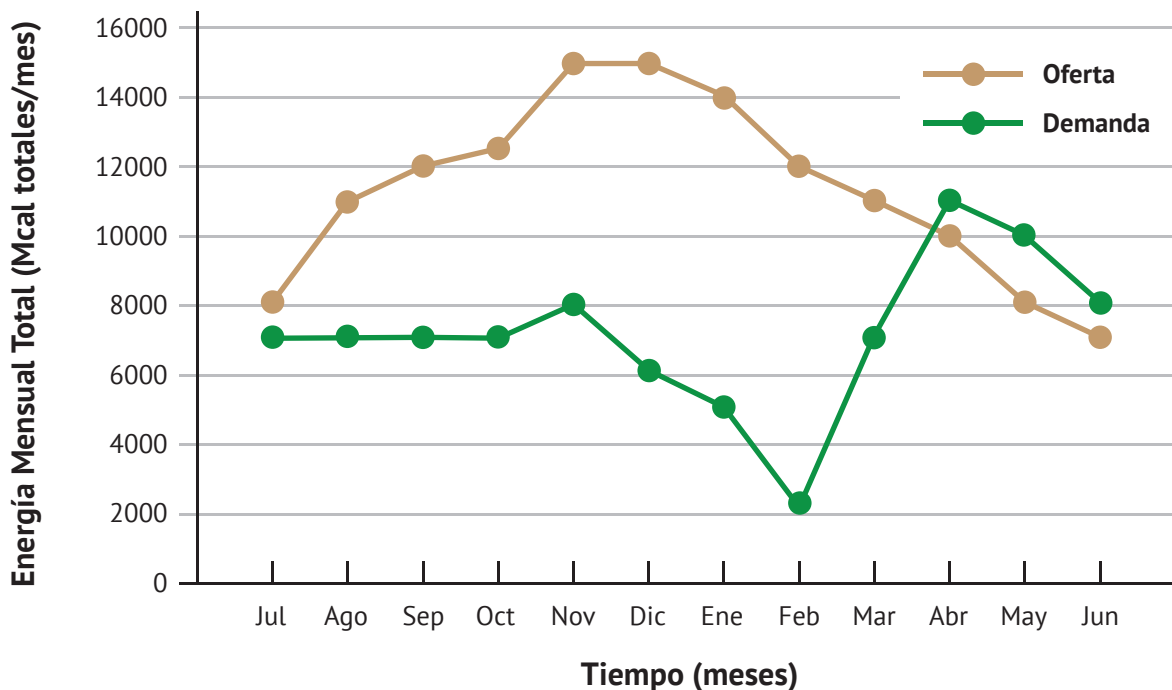
Las variaciones intra e interanuales de la producción forrajera, entonces, se encuentran fuertemente correlacionadas con las condiciones climáticas, y obligan a los sistemas productivos de la región a valerse de diversas herramientas que permitan modificar la carga animal o bien modificar la oferta forrajera. En el primer caso, la modificación de carga puede darse a lo largo del año, a través del estacionamiento del servicio, período de lactancia y destete, y entre años, adelantando o retrasando destetes, o incluyendo directamente una actividad fusible como la recría en años benignos. En el segundo caso, las prácticas de mejoramiento del pastizal, la incorporación de verdes o pasturas perennes, como también los cortes mecánicos, pueden modificar la estacionalidad y producción forrajera intraanual.

3.2.3. Variabilidad espacial de la producción forrajera

A la variabilidad temporal se le debe sumar la variabilidad espacial, ya desarrollada anteriormente en este capítulo, vinculada a la presencia de las distintas unidades fisonómico florísticas (Posse et al., 2005) que en este trabajo llamamos “comunidades” o “ambientes” de pastizal. Considerando esta heterogeneidad, la separación de ambientes o la clasificación de los potreros en función del ambiente dominante se vuelve una estrategia de manejo que permite mejorar la utilización del pastizal, buscando una integración de la cadena forrajera entre ellos (Rodríguez y Jacobo 2012, Cid et al. 2011). Podrán asociarse a ella otras tecnologías



a



b

Figura 3. Estimación de la oferta forrajera y demanda ganadera mensual en valores energéticos para 2 potreros, a) 1 y b) 2 de un establecimiento ganadero de la Cuenca del Salado. La superficie promedio se encuentra alrededor de las 200 y 300 ha.

que amortigüen esas variabilidades espacio-temporales, como es concentrar los animales en pocos rodeos de similares requerimientos de manera de poder generar una alta intensidad de pastoreo no selectivo, y mantener en descanso varios potreros a la vez (Rodríguez y Jacobo, 2012), tener el servicio estacionado de manera tal que coincidan los meses de mayores requerimientos con los meses de mayor producción de forraje, o bien destetar los terneros durante el otoño para ajustar la carga a la caída natural de la oferta forrajera (Carrillo 2001).

3.3 Planificación y organización del pastoreo controlado

Teniendo en cuenta los apartados anteriores, debemos planificar la utilización de nuestros pastizales incluyendo descansos, pastoreos controlados y un adecuado remanente de área foliar, acciones que deben cumplirse en forma alternada en pos de conservar y mejorar las condiciones del suelo, recuperar en cantidad, vigor y calidad las especies afectadas por sobrepastoreo, minimizar la selectividad y disminuir la abundancia de especies indeseables.

La productividad secundaria promedio de los sistemas de producción de la zona se encuentra entre 60 a 100 kg de carne/ha/año (Cid et al 2011) aunque la misma puede ser incrementada con ciertas pautas de manejo del campo natural (Jacobo et al. 2016, Jacobo et al 2006). Modificando el sistema de pastoreo, en algunos ambientes de pastizal, se ha demostrado que pueden producir hasta 230 kg de PV/ha/año (Nabinger y Carvalho 2009). Para ello, existen algunas prácticas de manejo que pueden mejorar la productividad y calidad del pastizal y, consecuentemente, la producción ganadera.

Las pautas de manejo, propuestas para la Pampa Deprimida, han ido evolucionando durante los últimos 30 años. Hacia finales de la década del '80 numerosos trabajos sobre estructura y funcionamiento de los pastizales se encontraban disponibles para establecer pautas de manejo sustentable (León et al. 1985, Maceira y Verona 1984, Batista

et al. 1988, Hidalgo y Cahuepé 1991 en Cid et al., 2011). Entre ellas se encuentran a) el pastoreo controlado con descansos contemplando la heterogeneidad a escala de paisaje; b) la fertilización para promover especies invernales; c) el incremento de la oferta invernal a partir de la promoción de una especie exótica naturalizada como el raigrás y d) el uso de carga variable a lo largo del año buscando una adecuación de la disponibilidad forrajera a los requerimientos nutricionales del ganado entre otras (Cid et al, 2011).

El pastoreo por ambientes y el pastoreo controlado son tecnologías de procesos presentados por distintos autores (Fernández Grecco et al, 1988 en Cid et al., 2011, Fernández Grecco, 1995, Deregibus et al, 1995) y se ha instaurado como uno de los principales ejes de trabajo al momento de buscar mejoras en el pastizal natural. La aplicación del pastoreo controlado, que contempla usos y descansos estratégicos, teniendo en cuenta la composición florística y la fisiología de las especies propias de cada ambiente, permite generar cambios en cobertura, composición florística y disponibilidad de forraje, conllevando un aumento de la receptividad del sistema. La combinación de pastoreos con alta carga instantánea y de corta duración, seguidos por descansos que permitan la recuperación del pastizal (Deregibus et al. 1995), incrementó la cobertura de grupos funcionales de alto valor forrajero y disminuyeron especies forrajeras de menor valor. Asimismo, la reducción de suelo desnudo mediante la acumulación de broza mejoró la condición del pastizal y su capacidad de carga, resultando en un aumento inmediato de la carga. La producción de carne por su parte, aumentó de 66.4 a 105.2 kg/ha/año luego de la implementación del pastoreo rotativo controlado (Deregibus et al., 1985). Estos cambios indican que el manejo del pastoreo, respetando el punto óptimo de reposo de las especies dominantes (principalmente gramíneas), mejora la condición del pastizal sin afectar la diversidad florística (Voisin 1959, Jacobo et al. 2006).

El tiempo transcurrido entre defoliaciones sucesivas, es un factor condicionante de la capacidad

de rebrote. La etapa fisiológica durante la cual se produce el pastoreo, impone cambios en la planta y en su fisiología (Trlica 1977). Si la biomasa es reducida en forma moderada durante la fase vegetativa, las gramíneas tienden a recuperar el área foliar removida; pero si el área foliar remanente es demasiado escasa, la tasa fotosintética se verá afectada haciendo más lento el rebrote (White 1973, Trlica 1977 y 1999). Ferraro y Oesterheld (2002) observaron una respuesta generalizada, indicando que a medida que la intensidad de pastoreo aumenta y se acorta el tiempo entre defoliaciones, decrece la productividad.

Además del tiempo óptimo de reposo y acumulación de forraje, los descansos pueden ser planificados para objetivos puntuales. Si lo que se busca es asegurar el vigor y la instalación de ciertas especies o grupo de especies, por ejemplo, se debe planificar el descanso del potrero en el momento en que las especies que nos interesan promover empiezan a germinar o rebrotar, y evitar que el animal las coma demasiado temprano. De esta forma podríamos separarlos en:

Descansos otoñales: destinados a la promoción de especies de ciclo otoño-inverno-primaveral, ya que permiten que prosperen una mayor cantidad de estas plantas. Por ello se recomiendan en potreros de loma y/o media loma, donde abundan las especies invernales C_3 con estacionalidad otoño-inverno-primaveral (OIP). Como se indicó anteriormente, la incidencia de luz promueve la germinación de especies invernales anuales y el macollaje de las perennes (Deregibus et al. 1994). Por ello, previo a comenzar el descanso de otoño, se debe consumir el forraje estival acumulado, eliminando la biomasa seca del último ciclo de crecimiento, facilitando la llegada de luz al suelo, lo cual se logra con pastoreos de corta duración con alta carga instantánea (realizado con una categoría de bajos requerimientos). El descanso, posterior a la defoliación intensa del fin de ciclo estival, debe ser suficiente para asegurar la germinación de especies invernales anuales y el rebrote de las perennes priorizando el “anclaje” de las mismas. El descanso debería prolongarse durante

el otoño y parte del invierno, tiempo necesario para el establecimiento y crecimiento de las especies invernales que aporten forraje de calidad y cantidad para ser utilizado estratégicamente durante la parición de las vacas en el invierno.

Descansos primavera-estivales: permiten el incremento de la producción forrajera y el semillado de las especies estivales en el caso de querer restaurar o mejorar el campo natural, tanto para especies de invierno como de verano. En el caso de la comunidad de bajos dulces, con especies de ciclo primavera-estivo-otoñal (PEO), este tipo de descanso es conveniente extenderlo hasta principios de diciembre o incluso enero.

Los descansos y pastoreos en el caso de la estepa de halófitas (bajos alcalinos), la comunidad que menor calidad forrajera posee y menos produce, merece un párrafo especial. Los bajos alcalinos o estepas de halófitas justamente debido a la presencia de sodio en los primeros centímetros del perfil, son muy impermeables, por lo tanto, la infiltración de agua es uno de los procesos más afectados. Bajos alcalinos con mayor cobertura y materia orgánica pueden aumentar los niveles de infiltración. Una menor cobertura, probablemente debido a un sobrepastoreo o pisoteo en húmedo, favorece el ascenso de sales apareciendo el famoso “barro blanco” (Lavado y Taboada 1987, Taboada y Lavado 1988).

La respuesta a los descansos primavera-estivales de los bajos alcalinos es, por lo general, más lenta, pues es más difícil producir un cambio botánico en esta comunidad (Vecchio 2014). El objetivo entonces, en este ambiente, es mantener el suelo cubierto, principalmente en los meses más cálidos, favoreciendo la infiltración y minimizando las pérdidas de agua por evaporación y ascenso de sales por capilaridad. Por lo tanto, una práctica recomendable sería diferir el crecimiento del verano a los meses de otoño-invierno. Al cabo de dos o tres ciclos de crecimiento, es posible empezar a encontrar otras especies que acompañan al Pelo de Chanco, tales como *Sporobolus indicus*, *Lotus tenuis* y otras especies del Bajo Dulce (Roitman y Preliasco 2012).

Por otra parte, se plantea el manejo de agua de superficie, generando bordos que permitan retener agua dulce en superficie y producir el lavado de las mismas por percolación, aumentando también la proporción de gramíneos (Alconada et al. 1993).

A diferencia de otras tecnologías aplicadas en pastizales de la zona, como la promoción de raigrás mediante la aplicación de herbicidas totales (Fernandez Grecco, 1994 en Cid et al., 2011), el pastoreo intenso de especies estivales seguido del descanso otoñal (promoción a “diente” impide la pérdida de especies estivales manteniendo la diversidad y sustentabilidad del pastizal (Rodriguez et al. 2010). Si bien notamos el aumento de raigrás (*Lolium multiflorum*), de excelente calidad forrajera, es importante la presencia de otras especies invernales, principalmente las perennes, que son las que aportarán forraje cuando las condiciones no sean las óptimas para la germinación de las anuales, dándole estabilidad y resiliencia al recurso pastizal. En la **Figura 4** se puede ver la cobertura de las especies otoño invierno primaverales y de las primaverales estivales, en mediciones de primavera, de un potrero en el cual se hicieron pastoreos intensos a principios de oto-

ño para promocionar la oferta de forraje invernal (Casal et al. 2014). Esto es una ventaja particular del pastizal natural por sobre otros recursos, que nos garantiza siempre aporte de forraje, en mayor o menor cantidad, aún en las situaciones de estrés como sequía o inundaciones, frecuentes en la zona de la Cuenca del Salado, además del aporte de materia orgánica a mayor profundidad, dado el extenso sistema radicular que este grupo de especies posee.

Los tiempos entre pastoreos deben estar asociados a la fisiología de las principales especies (tiempo óptimo de reposo), aspecto que resulta de gran complejidad dada la riqueza de los pastizales naturales. Sin embargo, lo que debe tenerse en cuenta es que debe ser suficientemente largo como para que la planta se desarrolle y recupere la biomasa removida, pero no tanto como para que envejezca y pierda calidad. Si lo que buscamos es la semillazón, será suficiente con que una proporción de las plantas haya llegado al momento de dehiscencia, es decir que haya desprendido sus semillas, mientras que otras plantas estarán en una etapa de floración más temprana. Para definir el momento de pastoreo luego del descanso debemos tener en cuenta

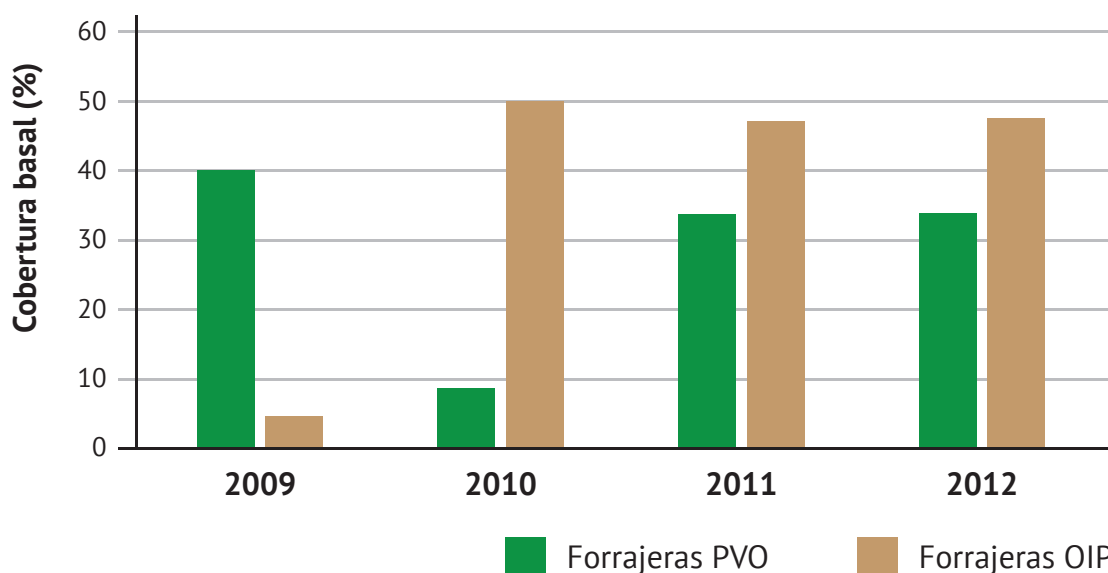


Figura 4. Cobertura de especies forrajeras OIP y PVO, en mediciones de primavera, en un potrero manejado para proveer forraje principalmente en los meses de invierno. Partido de Gral. Guido.

la heterogeneidad espacial del potrero (recordando que cada comunidad vegetal tiene un período óptimo de aprovechamiento), el número de animales, el tiempo que estarán pastoreando y, a su vez, el valor pastoril del pastizal que debe cumplir con los requerimientos del rodeo (Tabla 2).

3.4 Monitoreo del pastizal

Los monitoreos frecuentes, de todas las dimensiones que afectan a un sistema productivo, son muy importantes para controlar tanto la transición como la estabilización del sistema. En particular, el monitoreo (observación) de los pastizales, analizando la distribución de los distintos grupos funcionales y en especial, la cobertura total, nos permitirá identificar si los mismos se encuentran estables o están dentro de alguna de las transiciones hacia

estados de mayor degradación del pastizal, planteadas en los modelos propuestos en la bibliografía (León y Burkart 1998). Podremos inferir, entonces, si estamos realizando defoliaciones acordes al crecimiento estacional del pastizal.

Las monitoreos deben realizarse en distintos momentos del año, dado que si solo se considera la situación en el momento más crítico (invierno), podríamos estar ignorando cambios en el estado del pastizal durante las estaciones siguientes debido al uso del forraje disponible. Por ejemplo, durante las siguientes épocas es probable que sucedan descansos parciales, esto es, áreas sobre-pastoreadas y áreas sobre-descansadas con material muerto en proceso de oxidación en un mismo potrero, o potreros con descansos prolongados y alta acumulación de material senescente y cañas florales.

Para el análisis a escala de paisaje, desde la EEA Cuenca del Salado y la AER Olavarría, se reali-

		AMBIENTES - Comunidades vegetales	
Momento fisiológico	Época del año	LOMA Y MEDIA LOMA	BAJOS DULCES Y ALCALINOS
Destete	Fin de verano - principios de otoño	PASTOREO INTENSO Para promover pastos invernales	
Seca	Otoño- principio invierno	DESCANSO Para acumular forraje para parición	PASTOREO De forraje estival diferido al otoño
Lactancia	Parición	PASTOREO SELECTIVO Recuperar estado corporal y asegurar altos índices de preñez	DESCANSO Casi no hay producción de forraje
	Servicio		
	3°-6° mes de lactancia	Verano	DESCANSOS/PASTOREOS EVENTUALES PASTOREO Para cubrir los altos requerimientos del rodeo

Tabla 2. Uso estratégico de las distintas comunidades vegetales, acoplado con los requerimientos del rodeo de cría. Rodríguez, A. y Jacobo, E.J. 2012.

za un seguimiento expeditivo de los pastizales de la Cuenca del Salado y de la Depresión de Laprida, en sus principales ambientes, monitoreando el resultado del manejo de pastoreo frecuente en la zona. En función a esto, se han identificado en los partidos de Chascomús, Maipú, Olavarría (desde el 2014) y Azul (desde el 2016), sitios de muestreo que abarcan los ambientes de Cuenca del Salado y Depresión de Laprida, con pastoreos continuos o rotativos no controlados, comunes en la zona. En cada sitio, en 4 momentos del año (una medición por estación), se determina la cobertura total, por grupo funcional (gramíneas y graminoides, leguminosas y dicotiledóneas) y las especies dominantes en cada grupo. Los resultados (**Tabla 3**), nos muestran que los pastizales se mantienen dominados por gramíneas y graminoides, que la cobertura de leguminosas es baja, aunque variable entre las zonas, y que la cobertura de dicotiledóneas se encuentra entre los valores presentados por otros autores (Perelman et al 2001). Esta información resulta de gran utilidad para establecer un sistema de referencia zonal que nos permita identificar situaciones mejores o peores en nuestro establecimiento, al momento de generar indicadores propios.

3.5 El pastoreo controlado y sus efectos en la calidad del pastizal

El pastizal bien manejado, teniendo en cuenta las prácticas agroecológicas planteadas anteriormente, puede cubrir las demandas en proteína (9,2 %) y energía (20-21 MCal) para vacas de cría, con un consumo cercano a los 8-8,5 kg materia seca diaria por animal (Casal 2014) . Es por ello que el manejo del pastoreo en potreros de pastizal natural, ajustados de manera correcta a los requerimientos del rodeo, producirá mayor eficiencia en el sistema de producción de carne y también fomentará la resiliencia y persistencia del pastizal en buenas condiciones. Este es el caso, por ejemplo, de la alimentación post parto en vacas de cría.

La recuperación del estado corporal de las vacas luego del parto (principalmente en el invierno) influye en gran medida en la aparición del primer celo con repercusiones directas en el estacionamiento del servicio y la primera camada de terneros (i.e. terneros cabeza de parición). Las vacas estarán amamantando y recuperándose del parto, recobrando el peso perdido y reiniciando su ciclo reproductivo. Forraje de buena calidad en estos meses permitirá

	Cobertura total (%)					Cobertura por grupo funcional (%)		
	Ba	Bd	Bo	L	ML	GyG	Leg	Dicot
Chascomús	79,3	96,7	93,3	97,6	98,00	79,3	5,6	8,55
Maipú	81,8	86,8		100	93,8	75,5	2,2	13,4
Olavarría	67,8	94,1	78,3		96,8	78,00	2,4	8,0
Azul	65	90		100	95,0	68,0	9,0	23,0

Tabla 3. Cobertura total y por grupo funcional, desde el inicio de los monitoreos hasta el año 2017, en los distintos ambientes evaluados, para tres partidos de la Cuenca de Salado y uno de la Depresión de Laprida. Promedio de las cuatro estaciones del año. Datos inéditos de los relevamientos realizados por José Otondo, Alejandra Casal, Julia Martinefsky y Ariela Cesa. (Ba: bajo alcalino, Bd: bajo dulce, Bo: bajo overo, L: loma y ML: media loma, GyG: gramíneas y graminoides, Leg: leguminosas, Dicot: dicotiledóneas)

que las vacas lleguen a un buen estado al servicio, que el plazo entre la parición y el próximo celo sea mínimos (no mayor a 6 días), que con pocos servicios se efectivice la preñez y, así, mantener bien estacionado el rodeo.

3.6 Nutrición mineral en pastizales naturales

En cuanto a la fertilización de los pastizales naturales, durante muchos años se han recomendado dosis de nitrógeno o fósforo externas, buscando aumentos en producción y estacionalidad del recurso forrajero. Sin embargo, mejores efectos se pueden lograr y mantener en el tiempo, mediante el manejo del pastoreo, evitando la utilización de insumos externos que por lo general modifican las relaciones de dominancia de las especies vegetales y la diversidad o abundancia de la biota del suelo.

Las poblaciones silvestres difieren en su economía de los nutrientes (Grime 1979, Chapin 1980, Tilman 1988, van Breemen 1995) y la aplicación externa de fertilizantes podría disparar cambios en la composición florística de la comunidad (McNaughton 1977, Semmartin et al. 2007). En muchos ecosistemas, la adición de nutrientes ha beneficiado a ciertos grupos de plantas (aunque solo de forma inmediata, si tenemos en cuenta los efectos de los fertilizantes químicos sobre la biota asociada y la dependencia a las aplicaciones que esto pueda generar) en detrimento de otras, o bien ha provocado una reducción de la riqueza florística (McNaughton 1977, Wedin y Tilman 1996, Shaver et al. 2001).

Existen importantes evidencias que aseveran que se produce una pérdida en la diversidad de especies vegetales y un impacto en la estabilidad del sistema cuando se incorporan nutrientes al sistema. Esta respuesta ha sido encontrada a lo largo de 45 pastizales distribuidos a los distintos continentes, vinculados a la red global de ensayos de fertilización en pastizales, The Nutrient Network (NutNet, www.nutnet.umn.edu) (Harpole et al, 2016). Además de ello, y no menos importante, se pierden microorganismos del suelo, ya sea por el efecto sobre

esa misma comunidad o sobre las plantas asociadas a ellos.

Los ensayos realizados en Cuenca del Salado muestran que en un año de fertilización sintética, se pierden cuatro especies de pastos nativos que otorgan estabilidad al sistema (Chaneton 2017, <http://sobrelatierra.agro.uba.ar/riesgos-para-la-sustentabilidad-en-la-cuenca-del-salado/>). Pastizales dominados por especies nativas y aquellos en los que se registra un gran avance de especies exóticas, presentan distinta tasa de mineralización y diferencias en la acumulación de carbono en el suelo. Algunos autores muestran que en pastizales dominados por especies exóticas como *Festuca arundinacea*, se ven afectadas algunas funciones del ecosistema, presentando una mayor tasa de mineralización (por incorporación de broza) y una mayor tasa de respiración en suelo (debido al aumento de la actividad de los descomponedores) respecto a pastizales naturales dominados por *Paspalum quadrifarium*, (Spirito et al. 2014). Así también, la elección del sistema de pastoreo tendrá su participación en cuestiones de fertilidad no sólo por los cambios florísticos sino también por la materia orgánica en descomposición. Vecchio (2014) evaluó el cambio de pastoreo a un sistema rotativo controlado en un establecimiento de la Cuenca del Salado, registrando mayor contenido de carbono en el suelo, y más del 60% de ese carbono, acumulado en los primeros 0,20 m de suelo, profundidad a la que se encontraba la materia orgánica (MO) en descomposición. Esto inevitablemente se traduce en aumentos de fertilidad y diversidad.

3.7 Sistemas silvopastoriles en ambientes de pastizal

Los sistemas silvopastoriles (SSP), se definen como una forma de uso de la tierra en la que se aprovechan distintos estratos vegetales con la intención de obtener diferentes productos: forraje, carne, fibras, leche, frutos y/o madera. Así, se combinan plantas leñosas que interactúan biológicamente en una misma área con especies herbáceas y/o

con animales, con el propósito fundamental de diversificar y optimizar la producción (Rigueiro-Rodríguez *et al.*, 2009). Un sistema silvopastoril (SSP) se diferencia de una forestación clásica con alta densidad en que el distanciamiento entre árboles es mayor, permitiendo que una mayor proporción de radiación solar alcance el nivel del suelo, promoviendo el desarrollo de especies con mayor tolerancia al sombreado que crecen en el sotobosque. Esto conlleva una mayor diversidad estructural, dada por la combinación de la producción forestal y herbácea y provee al sistema alta estabilidad y resiliencia ambiental y económica al nivel de sitio. En el marco del manejo sustentable y conservación de los pastizales naturales, existen dos escenarios posibles en los cuales es posible incorporar a los SSP.

El primer escenario estaría dado por el uso de montes nativos, como los últimos relictos de talaras que crecen sobre cordones de conchilla en la Pampa Deprimida que hayan sido catalogados en las categorías II y III en el inventario forestal requerido por la Ley de Bosques 14.888. El manejo de estos bosques mediante podas, raleos y desarbusados (con distintos arreglos espaciales) promueve el ingreso de radiación y permite que puedan ser utilizados como SSP, aprovechando el sombreado y la mejor calidad de las especies forrajeras protegidas por el arbolado; esto sin desatender la estructura del rodal arbóreo y sus necesidades de regeneración (Coirini *et al.* 2013). La diversificación en la producción mediante la incorporación de actividades complementarias como la apícola, la recolección de material vegetal medicinal o aromático, subproductos industriales como gomas o resinas o el ecoturismo, también realizadas en pastizales naturales, resultan claves para la sostenibilidad de SSP en monte nativo.

Mostrando el impacto del sombreado sobre la composición de especies forrajeras en el sotobosque de un Talar, se presentan los resultados obtenidos en la estancia “Las Tijeras”, en la zona de amortiguación del Parque Nacional Campos del Tuyú (Miñarro y Marino, 2013). El pastoreo controlado en pastizales de loma con descansos otoño invernales

para la exclusión del ganado –previa realización de promociones con corte a fines de verano- fue efectivo para incrementar la contribución relativa de pastos invernales, aumentando la calidad forrajera, disponible para las vacas a partir del inicio de la parición. Se encontró que la abundancia relativa de las gramíneas invernales dentro del pastizal aumentó de 3,1% previo a los descansos a 12,5% luego de dos años de descansos en un potrero de pastizal de loma con monte de tala.

El segundo escenario, en ausencia de pastizales naturales, es la conversión de tierras ya impactadas por la agricultura y pasturas introducidas en SSP, promoviendo la diversificación productiva y modificando la provisión de servicios ecosistémicos de sostén. En la provincia de Buenos Aires existen condiciones de sitio óptimas para el desarrollo de ciertas especies de gran valor comercial como el *Eucalyptus globulus* Labill hacia el sudeste (Igartúa *et al.*, 2003), *Eucalyptus viminalis*, en Pampa Ondulada y Deprimida (Besteiro, 2014), en esta última zona también es posible plantar *Eucalyptus camaldulensis* y sauces en determinados ambientes (Quiñones Martorello 2017). Por otro lado *Pinus radiata* ha tenido buen desempeño en Pampa Ondulada y las serranías de Tandil, donde existen algunas experiencias que muestran los cambios en la calidad del pastizal bajo la media-sombra, permitiendo sostener aumentos en la producción ganadera (Ing J. Cordero, El Jabalí SA, Com. Pers.).

Los SSP optimizan las interacciones biológicas creadas entre árboles y herbáceas resultando en una mayor eficiencia en la captura y en la utilización de los recursos (Gordon *et al.*, 1997). Otra de las ventajas del aprovechamiento de montes nativos ó la introducción de especies arbóreas en SSP, es potenciar la capacidad del componente herbáceo (pastizales y pasturas) como sumidero de carbono (Jacobo *et al.*, 2016) con la capacidad de los árboles de compensar gases de efecto invernadero mediante la fijación de dióxido de carbono en biomasa leñosa en troncos y sistemas radiculares de los árboles (Nosetto *et al.*, 2006) y la oxidación del metano por parte de bacterias metanotróficas del

suelo asociadas a la rizósfera en sistemas forestales (Priano et al., 2014). Otras ventajas a tener en cuenta son la reducción del estrés calórico (dada por la sombra que provee la forestación), la protección contra los vientos fuertes y las bajas temperaturas (Pérez Cazar, 2016), la disminución del riesgo de heladas, el aumento de la productividad forrajera y una mejora en la calidad nutritiva de la pastura debido al incremento del contenido de P y N en gramíneas creciendo bajo cobertura arborea respecto de gramíneas creciendo a cielo abierto (Fassola et al., 2009).

En el caso de los SSP, es importante tener en cuenta que la implantación de árboles en un sistema herbáceo, puede ser visto como un disturbio que afecta la composición y dinámica sucesional del pastizal, por la presencia de un componente de la vegetación que establece nuevas relaciones de competencia y facilitación (Fernández et al. 2005). El balance en estas interacciones puede establecerse para distintas especies, siendo positivo para unas

y negativo para otras (Callaway y Walker 1997). Si bien los árboles pueden modificar fuertemente las propiedades físico-químicas de los suelos bajo el dosel (Young 1997), resultando generalmente en mejoras en la fertilidad y la capacidad de infiltración de agua, también afectan el contenido de agua por mayor consumo en relación al componente herbáceo e interceptación de las precipitaciones. Del mismo modo, en ambientes húmedos donde la radiación pasa a ser el recurso más limitante en términos relativos, la productividad y la persistencia de las herbáceas del sotobosque puede verse afectada (Mazía et al. 2016). El balance de estos procesos sobre distintas especies herbáceas dependerá de su respuesta diferencial a la disponibilidad de recursos. Por tal motivo, el adecuado manejo de los recursos en este tipo de sistemas, buscando la producción conjunta de todos los componentes del mismo y sin desatender los requerimientos de ninguno, es fundamental para la incorporación de SSP bajo un contexto agroecológico.

4. Algunos ejemplos de la utilización de prácticas agroecológicas en el pastizal pampeano

En el Campo Experimental del Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas del INTA (Hurlingham), ubicado a unos 30 km al oeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, en la antigua Cuenca de Abasto, se está transitando un proceso de transición agroecológica desde el año 2011, momento a partir del cual no recibe pulverizaciones con agroquímicos. Su rodeo de crías es de cruces de razas británicas (Aberdeen Angus y Hereford), con una cantidad total 72 bovinos y una superficie ganadera útil de 56,1 ha, correspondientes a un 56% de campo natural, 26% de pasturas polifíticas y 18% de verdeos de invierno y verano. La productividad promedio (2016-2017) de carne fue de 154.42 kg PV/ha. El manejo forrajero se realiza en pastoreo directo y rotativo sobre estos recursos, más la suplementación con rollos (propios o comprados).

En el marco del proceso de transición iniciado, se vienen realizando algunos estudios. Por un lado, se estimó la agrobiodiversidad funcional a partir del índice de potencial de regulación biótica (PRB) (Iermanó *et al.*, 2015), basado en Sarandón *et al.* (2014). Este índice PRB, que varía entre 0 y 1, estima indirectamente el potencial de un sistema productivo para la regulación de adversidades bióticas. Se define potencial de regulación biótica como la capacidad potencial de un agroecosistema para mantener reguladas poblaciones de plagas, enfermedades y malezas lo cual es importante para reducir el uso de insumos utilizados en reemplazo de dicho proceso ecológico (Swift *et al.*, 2004). El IRPB total fue de 0.86 para 2016 y 0.89 para 2017, incluso superior al promedio obtenido en los establecimientos familiares mixtos relevados por Ier-

manó *et al.* (2015), en el que se había obtenido un IRPB máximo de 0,7. Esto demuestra que sistemas diversos y de baja aplicación de insumos de síntesis química tienen mayor potencial de regulación biótica, pudiendo sostener -como en este caso- niveles productivos aceptables y acordes a los objetivos de producción.

Otra forma de comparar y valorar sistemas, es a partir de la determinación de la eficiencia energética en la producción de un bien. En este sentido, algunos trabajos, relacionaron la producción de carne ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) con la cantidad de energía fósil utilizada para su obtención. A partir de estos datos se calculó la eficiencia energética (EUE) como la relación entre la energía que ingresa al sistema en forma de insumos derivados del petróleo y la energía retenida en producto ($\text{OUTPUT}/\text{INPUT}$) (e.g. Iermanó y Sarandón, 2009, 2010). Se consideró como energía fósil invertida aquella destinada a la implantación de cultivos, a la regulación biótica y el ciclado de nutrientes. La EUE obtenida fue de 1.44, eficiencia aceptable pero mejorable dado que Viglizzo *et al.* (2006) proponen una eficiencia energética objetivo cercana a 2 como para tener un riesgo ambiental aceptable. Este corrimiento de la eficiencia lograda respecto de la ideal puede deberse a la alta participación de especies exóticas tales como el raigrás, observadas en los censos de vegetación realizados en otoño y primavera (datos no mostrados). Esta abundancia correspondería a una segunda etapa del proceso de sucesión secundaria ocurrido por el pastoreo, que fuera descrito por Omacini *et al.* (2005). Además, los sistemas de cría tienden a ser más ineficientes energéticamente que otros sistemas productivos dada la cantidad de

eslabones involucrados, que hacen que sea mayor la cantidad de energía que es disipada entre eslabones y menor la energía retenida en el producto final (Viglizzo, 2014). El estudio de las relaciones entre la eficiencia en el uso de la energía y la intensificación resulta interesante dados los resultados controversiales que figuran en la bibliografía (e.g. Jacobo *et al.*, 2016; Dalgaard *et al.*, 2001; Refsgaard *et al.*, 1998; Uhlin, 1999;).

En cuanto a sistemas cuyo recurso forrajero sea pastizal natural, totalmente o casi en su totalidad (uso de rastrojos, por ejemplo, en el primer establecimiento mostrado), se presentarán algunos casos. Como ejemplo del impacto de las prácticas de manejo planteadas en este capítulo, en el establecimiento ganadero a base de pastizal “La Clarita”, de 246 has, en el partido General Guido, se lograron aumentos importantes de producción forrajera anual. En este sentido en alguno de sus potreros, la biomasa forrajera pasó de 2.400 kg MS/ha en 2009 a 10.599 kg MS/ha en 2013. El seguimiento de la producción, primaria y secundaria se realizó durante cuatro años (Casal *et al.* 2014a) (**Tabla 4**). Las prácticas de mejora empleadas fueron: **a-** una descripción y separación de ambientes mediante

alambrados eléctricos, dejando amplios callejones que conecten a las aguadas; **b-** ordenamiento del pastoreo siguiendo el criterio de usos y descansos que vinimos desarrollando en este capítulo, permitiendo, así, la supervivencia del pastizal y un aumento en los valores de producción secundaria. El aumento en la producción forrajera permitió un aumento en la ganancia del productor, a través del aumento de carga y producción de carne.

A menudo se considera que 12 kg de materia seca diarios satisfacen la demanda en alimentos de 1 EV (teniendo en cuenta una vaca de cría que pesa aproximadamente 400 kilos). Sin embargo, cuando graficamos la oferta de pasto luego de la mejora en “La Clarita”, en el lapso de días de pastoreo, se ve un desfase entre las dos curvas (**Figura 5**). En la figura se observa que la demanda de los animales en consumo de kg de materia seca sería mayor que la ofertada por el pastizal y, sin embargo, el estado general y la ganancia de carne del rodeo fue satisfactoria, conservando además el pastizal (Casal *et al.* 2014a). Esto sucede porque los valores empleados en el cálculo teórico (al confeccionar el balance forrajero) fueron superados por la calidad nutricional del pastizal, que compensa la menor biomasa a partir de una mayor digestibilidad por sus valores de energía y proteína. Este dato es novedoso y no debe subestimarse ya que demuestra que el pastizal puede ser en un recurso con un mayor potencial en calidad (Casal *et al.* 2014 b,c).

Con el manejo adecuado a cada comunidad del pastizal fue posible mantener valores estables de calidad. En este sistema se han logrado valores de digestibilidad promedio de 60 % y 12 % de proteína en los potreros de invierno, y 62 % de digestibilidad y 13 % de proteína bruta en los de verano. Con estos valores se cubren ampliamente los requerimientos de un rodeo de cría (NRC, 2016). En cuanto a la energía metabolizable, los potreros de invierno aportaron un promedio de 2,2 MCal/kg MS y los de verano 2,3 MCal/kg MS. (Casal *et al.* 2014b). Si se considera que los requerimientos de una vaca de cría en la Cuenca del Salado son de 21 MCal/día promedio en el año, los mismos pueden ser cubiertos por un

Año	Producción Primaria (kg MS/ha)	Carga (EV/ha)	Producción Carne (kg/ha)
2009	3661	0,86	198,6
2010	3581	0,72	131,9
2011	4953	0,92	95
2012	6005	1,31	206,3
2013	8011	1,22	203

Tabla 4. Seguimiento de producción primaria y secundaria durante cuatro años de evaluación en establecimiento ganadero a base de pastizal natural, con mejoras en el manejo del recurso.

consumo aproximado de 10 kg MS.animal⁻¹.día⁻¹. De esta manera, con los 8644,5 kg MS/ha promedio producidos, la calidad obtenida en estos pastizales y habiendo dejado suficiente remanente de área foliar para permitir la continuidad y mejora del recurso forrajero en el tiempo, es posible sostener cargas de 1,1 EV en verano, 1,42 en otoño, 1,52 en invierno y 2,43 en primavera (promedio anual de 1,62 EV/ha) (Casal et al. 2014 b).

Otro ejemplo de manejo que se puede analizar, es el que se llevó a cabo en un establecimiento ubicado en el partido de Chascomús (INTECH). Allí, se seleccionó un potrero heterogéneo de 36 has, el cual se separó por los dos ambientes dominantes. De acuerdo a la superficie y potencial productivo de cada ambiente, se estableció la carga animal media y se le asignó un rodeo de cría que permaneció rotando dentro de este potrero. El sistema de pastoreo utilizado fue el de pastoreo controlado (Rodríguez y Jacobo 2012) mediante el cual cada ambiente fue pastoreado en forma diferencial de acuerdo a la época del año. Una vez estabilizado el manejo del

pastoreo, se realizó un seguimiento sobre la producción primaria (producción primaria neta aérea y composición botánica), la carga instantánea y la condición corporal de los animales (IPCVA, 2009). Al inicio del año de evaluación se utilizó un rodeo de vacas satélite (100 vacas multíparas, durante 20 días) para remover el material remanente de verano en los potreros de media loma (12,25 has) y permitir el ingreso de luz para un mejor establecimiento del raigrás y otras especies invernales. Una vez realizada la promoción se utilizó un rodeo de 18 vacas multíparas con 17 terneros nacidos en primavera de 2013 que fueron destetados en agosto de 2014. Estacionalmente, se estimó la condición corporal del rodeo, utilizando la escala de 1-5. La condición corporal de los animales, alcanzó el valor de 3 (valor mínimo para asegurar porcentajes de preñez superiores al 95%) en las primeras rotaciones del pastoreo del potrero, manteniéndose siempre en valores cercanos e incluso superiores. Esta estabilidad en la condición corporal de los animales, indica en forma indirecta que la disponibilidad de forraje y la carga emplea-

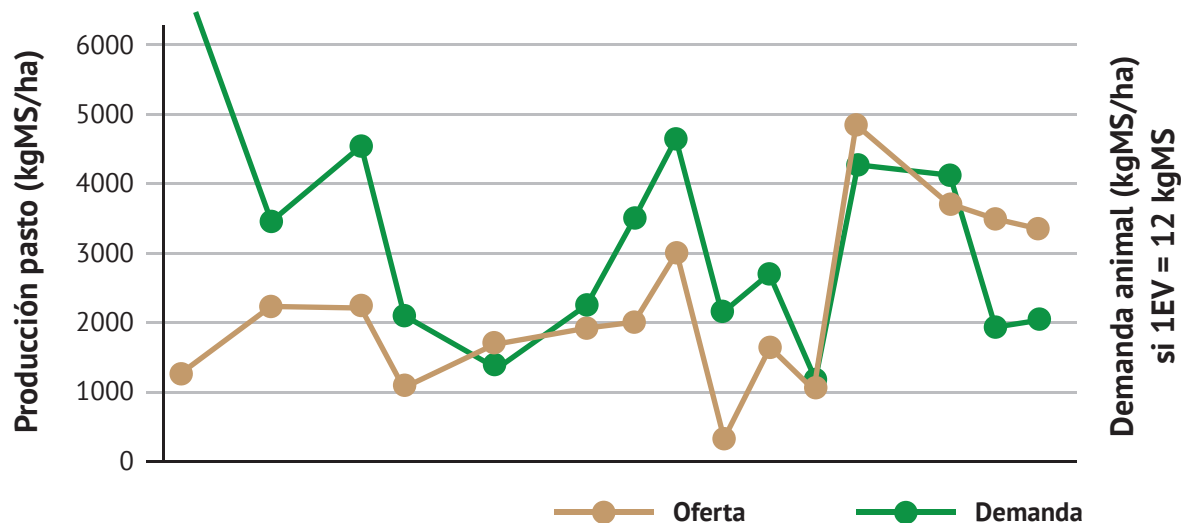


Figura 5. Oferta de forraje de pastizal natural y demanda animal en kg MS, si cada Equivalente Vaca fuese calculado como requerimiento de 12 kg de MS, como habitualmente se calcula, en un potrero de pastizal manejado correctamente, con forraje de alta calidad. Las curvas están graficadas de invierno de 2009 a primavera de 2013, y la demanda calculada en base a las categorías y los días de uso en ese potrero. Partido de General Guido.

das aseguraron un adecuado plano nutricional. El manejo empleado permitió un incremento de la carga animal, pasando de 0,50 EV/ha, en el año 2014, a 0,83 EV/ha en el año 2017. Esto significó un aumento del 69 % en la producción de carne, dado que se pasó de producir 93 kg carne/ha.año a 157 kg en el año 2017. Cuando se analiza la cobertura vegetal y la composición florística de los distintos ambientes del potrero, se puede observar que los ambientes de media loma presentaron una importante presencia de leguminosas (*Lotus tenuis* y *Trifolium repens*), superior a lo observado en los monitoreos de pastizales realizados por INTA en la región (Otondo y Casal, 2016). Así mismo, se observó la predominancia de gramíneas invernales anuales como *Lolium multiflorum* y *Bromus unioloides*, promovidas por el manejo de ambientes, y durante el verano, *Digitaria sanguinalis*, *Setaria parviflora* y *Cynodon dactylon*. En el caso del bajo alcalino, claramente *Distichlis spicata* (pelo de chanco) es la gramínea más frecuente, sin embargo se observa una pequeña presencia de *Lotus tenuis* como única leguminosa y una fuerte presencia de *Sida leprosa* y *Salicornia* spp. como dicotiledóneas no forrajeras. Como es esperable en el bajo dulce, hubo mayor diversidad de gramíneas

siendo *Paspalum vaginatum* la más frecuente y *Lotus tenuis* tuvo mayor presencia. La producción de forraje fue cercana a los 6650 kgMS/ha.año media loma el primer año de medición (2014/2015), mientras que la biomasa en los ambientes más bajos, no pudo ser estimada de manera correcta por el exceso de lluvias invernales que provocaron el anegamiento completo del bajo desde agosto hasta diciembre de 2014 (50 cm de agua en superficie). Al analizar la biomasa disponible en los años sucesivos, se puede observar que en el 2017 el ambiente de media loma mostró un claro aumento de la misma (**Figura 6**); mientras que el bajo, tuvo valores intermedios entre el 2014 y el 2015, mostrando quizás una mayor variabilidad en su respuesta al manejo del pastoreo. Como se dijo al inicio que la descripción de este caso, el primer año de evaluación la producción de carne fue de 93 kg/ha mientras que se incrementa un 25%. Los destetes se realizaron con un peso promedio de 198,5 kg, en los meses de julio y agosto. La definición de los momentos de uso de cada parte del paisaje, media loma y bajos, permitieron que los animales encontraran lugar seguro y productivo en los ambientes más altos (245 días de uso de media loma y 116 en bajo).

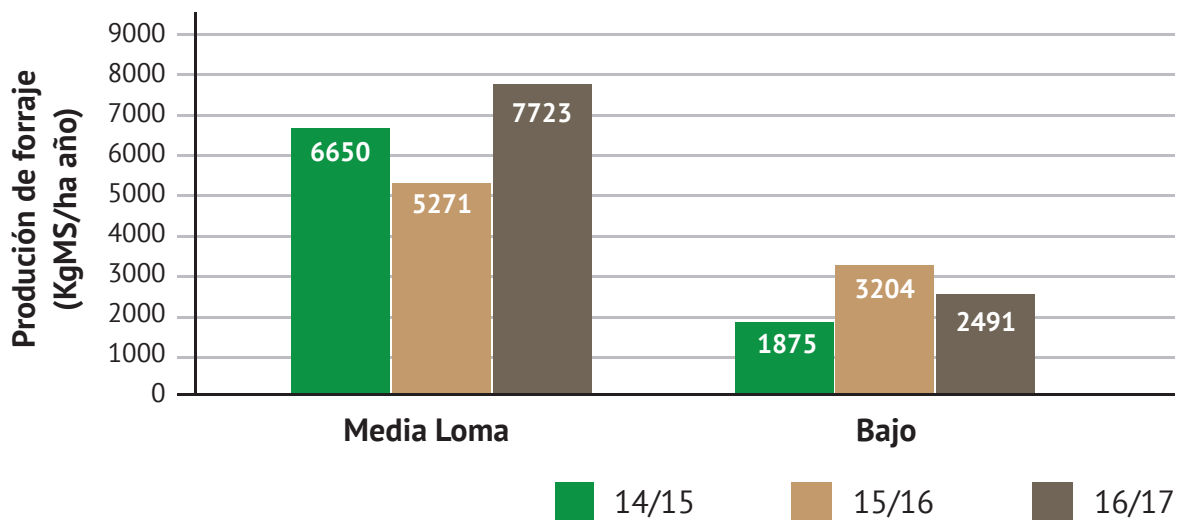


Figura 6. Producción de forraje durante tres años de evaluación (2014/15, 2015/16, 2016/17), sobre un módulo de manejo ganadero por ambientes, en pastizal natural, en el partido de Chascomús.

Un tercer ejemplo que es importante mostrar, se asocia a la Bahía de Samborombon, la cual es reconocida como un humedal de importancia internacional designada como uno de los “Sitios Ramsar” (<https://www.ramsar.org/es/humedal/argentina>). Durante los últimos años se han conformado áreas protegidas de dominio nacional, provincial y municipal, además de varios reconocimientos nacionales e internacionales. La Fundación Vida Silvestre Argentina junto con Aves Argentinas con el apoyo de INTA, Administración de Parques Nacionales (APN) y la Facultad de Agronomía de la UBA (FAUBA) trabajaron junto a los productores ganaderos zonales en el proyecto “Ganadería sustentable de pastizal”. Nueve productores y el parque Nacional “Campos del Tuyu” han participado y aplicado dichas prácticas durante los últimos años optimizando los niveles de producción y la conservación de la biodiversidad en campos privados (Miñarro y Marino, 2013). “Los Ñanduces” es uno de los establecimientos que participa en el proyecto “Ganadería sustentable de Pastizal”, y a partir de 2012, incorporó el modelo de producción sustentable (separación de ambientes, pastoreo controlado, promoción de especies invernales a diente en lugar de desecación con glifosato,

descansos estivales de bajos salinos, entre otras recomendaciones). Esta incorporación de tecnologías de procesos en el manejo del pastizal, sumados a un ordenamiento del rodeo, dio un aumento casi inmediato de los parámetros productivos. El porcentaje de preñez de la vaca de segunda cría pasó de 73,9% en 2012 a 90,5% en 2013, mejorando además la distribución de las preñeces (15, 45, 40% en cabeza, cuerpo y cola de parición respectivamente en 2012 a 45, 35 y 20 % en 2013), lo que permitió destetar terneros más pesados, aumentando la producción de carne. Esto hizo repensar la receptividad del establecimiento y aumentar la carga animal global que pasó de 0,41 EV/ha a 0,57 EV/ ha (Miñarro y Marino 2013). No solamente el establecimiento incorporó estas prácticas sustentables, sino que también incorporó un área de reserva estricta de 32 ha, que abarca las comunidades del pastizal de media loma, bajo dulce y bajo alcalino. La creación de la reserva persigue como objetivo del propietario generar un ámbito para la educación tanto agropecuaria (estudiantes y profesionales del área) como también ambiental para la comunidad en general (Mc Loughlin, com. personal).

5. Pastizales y servicios ecosistémicos

La ganadería a base de pastizal natural aporta más beneficios que aquellos derivados exclusivamente del ingreso económico por la producción de carne. En su multifuncionalidad, estos sistemas juegan un rol de importancia en los procesos naturales a escala de paisaje rural. En dicha escala, los servicios ecosistémicos de importancia son: el secuestro de carbono por parte de las especies vegetales presentes; la regulación de los ciclos de nutrientes; la calidad, sanidad y la estabilidad estructural del suelo; el balance hídrico y limitaciones por anegamiento/ filtrado de contaminantes y el mantenimiento de la biodiversidad entre los principales (Gibon, 2005). Sumado a ello, se pueden considerar aspectos sociales y culturales, que son afectados cuando se produce un severo impacto sobre los recursos naturales. Es por ello que la preservación y recuperación de los pastizales naturales, resulta cada vez más relevante, no solo por ser la principal fuente de alimento de una importante superficie mundial de sistemas ganaderos, sino también por la multifuncionalidad de los mismos (Lemaire et al., 2005, Carbutt et al., 2017).

Es importante, entonces, promover los sistemas de producción, que contemplen las condiciones ambientales y sociales del territorio, mejorando y dándole mayor rentabilidad económica a la actividad ganadera tradicional, aportando servicios al ambiente y la sociedad y evitando reemplazos por actividades más demandantes de insumos exógenos al sistema como la agricultura tradicional preponderante en la zona. Actividades como la producción de cereales ha generado en muchos casos, una fragmentación del paisaje como así también de la trama sociocultural, dado que en algunos casos los

productores de menor escala arriendan su campo a pools de siembra.

La biodiversidad y los servicios ecosistémicos que aportan los ecosistemas de pastizal benefician tanto directa como indirectamente a la producción de carne. Sin embargo, es poca la cuantificación de los mismos en los sistemas actuales. Deak et al., (2009) y Silvertown et al., (2006) encontraron que con un aumento en la biodiversidad, la estabilidad en la producción aumentó, garantizando buenas cosechas también en años con condiciones ambientales adversas. Otros trabajos evidenciaron una mejora en la producción primaria aérea dando mayor biomasa forrajera disponible para los animales (Sanderson et al., 2004). De la mano de una mayor producción de las especies vegetales, la complementariedad y mejor uso de los espacios disponibles en el suelo (Harrison et al., 2007, Weigelt et al., 2005) provocó una menor pérdida de nutrientes bajo pastizales diversos (Mulder et al., 2002, Niklaus et al., 2006) y un aumento en el almacenamiento de carbono del suelo (Steinbeiss et al., 2008). Asociado a los niveles de nutrientes en el suelo, la incorporación de leguminosas al tapiz vegetal original implicó un menor potencial de nitrificación y producción de óxido nitroso (Niklaus et al., 2006). Por otra parte, otros autores citaron que en sistemas más diversos se encontró una mejor eficiencia en el uso del agua en (Caldeira et al., 2001).

Una de las herramientas para la evaluación de los pastizales, que identifica actores del sector rural que promuevan la restauración y conservación de los pastizales favoreciendo la provisión de los diversos servicios ecosistémicos es el Índice de Contribución a la Conservación de Pastizales Natu-

rales del Cono Sur de Sudamérica (ICP), desarrollado por encomienda de un consorcio de gobiernos nacionales y provinciales de la región reunidos por la Alianza del pastizal (<http://www.alianzadelpastizal.org>), con la asistencia del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). El ICP es un índice creado por investigadores de nuestra región con el fin de obtener una herramienta estadística confiable para medir la contribución a la conservación de los pastizales naturales que en la región se encuentran en un acelerado procesos de sustitución y deterioro, a escala de “establecimiento rural” como unidad de manejo y decisiones (Parera y Carriquiry, 2014).

Este índice se corresponde con una ecuación que conjunta diversos aspectos estructurales y funcionales del pastizal y del entorno en el cual se encuentra inserto (Parera y Carriquiry 2014). En algunas provincias de nuestro país se promovieron los primeros proyectos de Ley de Incentivos a la Conservación de Pastizales Naturales incorporando al ICP como variable rectora (<https://pastizalesdelsur.wordpress.com/>). Asimismo, en Paraguay existe una reglamentación específica para pastizales naturales en el marco de Ley de Valoración y Retribución por Servicios Ambientales, como mecanismo concreto de incentivos que ya reconoció su primer antecedente de un “pago” significativo por servicios ambientales de los pastizales naturales de una propiedad, certificados a través el ICP (Res SEAM n° 289/13 sobre Ley N° 3001/06, Paraguay). Es por ello, que se trata no solamente de una herramienta eficaz para la evaluación de la condición actual de los pastizales sino que también puede identificar y destacar a los productores que los conservan.

CONCLUSION

Los sistemas ganaderos basados en pastizales naturales de la región como principal fuente forrajera, se caracterizan por mantener bajas cargas animales y regular la presión de pastoreo mediante la venta de terneros o vacas de refugio (según la necesidad) o bien una suplementación estratégica.

Como consecuencia de estos manejos la mayoría de estos sistemas muestran síntomas de degradación. Sin embargo, hay evidencia bibliográfica y práctica que muestra que la condición actual de sobrepastoreo se puede revertir con prácticas de fácil adopción, como el pastoreo controlado. De esta manera, es posible aumentar la producción de pasto, y por consiguiente de carne, mejorando el ambiente, produciendo de manera sustentable, y consiguiendo, además alimentos sanos. El pastoreo controlado permite el reciclaje de biomasa, el aumento de la materia orgánica, un adecuado balance de nutrientes en el suelo, favorece la actividad microbiana y la captura de carbono (el suelo como sumidero), evita su salinización, aumenta la biodiversidad y promueve el equilibrio de especies en la comunidad vegetal. Se necesita seguir trabajando en la difusión y visibilización de estas prácticas, para que los productores, en especial los pequeños, puedan adaptar estos procesos a su realidad y recuperar el estado de los pastizales.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Emiliano Pérez por sus aportes en la redacción, revisión y conceptos de agroecología aplicados a los pastizales pampeanos.

BIBLIOGRAFIA

- Alconada, M.; Ansín, O.E.; Lavado, R.S.; Deregiibus, V.A.; Rubio, G. y Gutiérrez Boem, F.H..1993. Effect of retention of run-off water and grazing on soil and vegetation of temperate humid grassland. *Agricultural Water Management*, 23 (3): 233-246.
- Alonso, S. I., Guma, I. R., Nuciari, M. C., & Van Olphen, A..2009. Flora de un área de la Sierra La Barrosa (Balcarce) y fenología de especies con potencial ornamental. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 41(2).
- Altieri, M.A. 1995. *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture*, 2nd Ed. Westview Press, Boulder, CO.
- Altieri, M., & Nicholls, C. I..2000. *Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental*, 1.
- Auer, A., & Maceira, N. 2017. ¿Quién domina los procesos territoriales? Importancia de los diferentes capitales para un desarrollo sustentable: Caso de estudio: Partido de Balcarce, Argentina. *Pampa (Santa Fe)*, (15), 47-81.
- Baldi G., Guerschman J.P., Paruelo J. 2006. Characterizing fragmentation in temperate South America grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 116:197-208.
- Batista, W. B., León, R. J. C., & Perelman, S. B..1988. Las comunidades vegetales de un pastizal natural de la Región de Laprida, Prov. de Buenos Aires, Argentina. *Phytocoenologia*, 16(4), 519-534.
- Besteiro S. 2014. Evaluación de la influencia hidrológica de forestaciones en la llanura pampeana. *Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP*, pp 264
- Bilenca, D., & Miñarro, F.. 2004. Identificación de áreas valiosas de pastizal (AVPs) en las pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (No. 504.73 (8) BIL).
- Bonaudo T, Burlamaqui Bendahan A, Sabatier R, Ryschawy J, Bellon S, Leger F, Magda D & M Tichit. 2014. Agroecological principles for the re-design of integrated crop livestock systems. *Europ J. Agronomy* 57: 43–51.
- Bonny, S.. 1993. Is agriculture using more and more energy? A French case study. *Agricultural systems*, 43(1), 51-66.
- Burkart A.. 1975. Evolution of grasses and grasslands in South America. *Taxon* 24 (1): 53-66.
- Burkart S., Garbulsky M., Ghersa C., Guerschman J., León R. J. C., Oesterheld M., Paruelo J., Perelman S. (ex aequo). 2005. Las comunidades potenciales del pastizal pampeano bonaerense. En: *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas, Un homenaje a Rolando J. C. León*. Compilado por Oesterheld M., Aguiar M., Ghersa C., Paruelo J.. Ed Buenos Aires. (430 Pp). 379-389 pp.
- Cabrera, A. L.. 1976. *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería: regiones fitogeográficas Argentinas*. Acme.
- Caldeira, M. C., Ryel, R. J., Lawton, J. H., & Pereira, J. S..2001. Mechanisms of positive biodiversity–production relationships: insights provided by $\delta^{13}\text{C}$ analysis in experimental Mediterranean grassland plots. *Ecology Letters*, 4(5), 439-443.
- Callaway RM, Walker LR.. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78 (7):1958-1965.
- Carbutt, C., Henwood, W.D. and Gilfedder, L.A., 2017. Global plight of native temperate grasslands: going, going, gone?. *Biodiversity Conservation*,

- Springer. DOI 10.1007/s10531-017-1398-5
- Carrillo J.. 2001. Manejo de un rodeo de cría. 2ª ed. Ed. INTA. ISBN 950-9853-7-8
- Casal A. V. 2014. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_pastizales_naturales_-_estacionamiento_del_ser.pdf Artículo de divulgación.
- Casal A., Coria J.D., Pettinari J..2014 a. El pastizal natural. Mejoras en la producción de pasto. http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20naturales/198-Produccion_pastizales.pdf . Artículo de divulgación.
- Casal A., Coria J.D., Pettinari J..2014 b. El pastizal natural. Calidad nutricional del pasto. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_calidad_nutricional_del_pasto.pdf . Artículo de divulgación.
- Casal A., Coria J.D., Jankovic..2014 c. Calidad forrajera de un pastizal natural en la Cuenca del Salado con diferentes usos estacionales. Comunicación. 37º Congreso Argentino de Producción Animal, 2nd Joint Meeting ASAS-AAPA. XXXIX Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal.
- Cesa, A., Casal, A.V. y Otondo, J.. 2016. Estado de la vegetación de la cuenca del Salado: Inicio de primavera. <http://inta.gob.ar/documentos/estado-de-la-vegetacion-de-la-cuenca-del-salado-inicio-de-primavera-2016>. Publicado lunes 5 de diciembre de 2016.
- Cesa, A., Otondo, J; Casal, A.; Rodriguez, A. y Balda, S.. 2017. Estado de la vegetación de la Cuenca del salado, enero 2017.. Publicado on line el 18 de enero de 2017. http://inta.gob.ar/sites/default/files/estado_de_la_vegetacion_de_la_cuenca_del_salado_-_enero_2017_0.pdf
- Chaneton, E. J., & Lavado, R. S..1996. Soil nutrients and salinity after long-term grazing exclusion in a Flooding Pampa grassland. *Journal of Range Management*, 182-187.
- Chaneton E., Perelman S., Omacini M., León R.J.C..2002. Grazing environmental heterogeneity, and alien plant invasions in temperate grasslands. *Biological Invasions*, 4: 7-24.
- Chaneton E.. 2005. Factores que determinan la heterogeneidad de la comunidad vegetal en diferentes escalas espaciales. En: La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas, Un homenaje a Rolando J. C. León. Compilado por Oesterheld M., Aguiar M., Ghersa C., Paruelo J..Ed Buenos aires.(430 Pp).19-42 pp.
- Chapin F.S. II.. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11: 233-260.
- Cid, M. S., Grecco, R. F., Oesterheld, M., Paruelo, J. M., Cibils, A. F., & Brizuela, M. A.. 2011. Grass-fed beef production systems of Argentina's flooding pampas: Understanding ecosystem heterogeneity to improve livestock production. *Outlook on AGRICULTURE*, 40(2), 181-189.
- Cingolani, A. M., Noy-Meir, I., Renison, D. D., & Cabido, M..2008. La ganadería extensiva:¿ es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos?. *Ecología austral*, 18(3), 253-271.
- Coirini R.; Brassiolo M.; Karlin M. 2013.Prácticas forestales en los bosques nativos de la República Argentina, ecorregión Espinal. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- Dalgaard, T., Halberg, N., & Porter, J. R..2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 87(1), 51-65.

- Deak, T. .2009. Ecology and biodiversity of yeasts with potential value in biotechnology. En *Yeast Biotechnology: Diversity and Applications* (pp. 151-168). Springer, Dordrecht.
- Deregibus, V. A., Sanchez, R. A., Casal, J. J., & Trlica, M.J.(1985). Tillering responses to enrichment of red light beneath the canopy in a humid natural grassland. *Journal of applied Ecology*, 199-206.
- Deregibus, V. A., & Cahupé, M..1983. Pastizales naturales de la Depresión del Salado: utilización basada en conceptos ecológicos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 1, 47-78.
- Deregibus V.A., Casal J.J., Jacobo E. J., Gibson D., Kauffman M., Rodriguez A..1994. Evidence that heavy grazing may promote the germination of *Lolium multiflorum* seeds via phytochrome-mediated perception of high red/far-red ratios. *Functional Ecology* 8 (4): 536-542
- Deregibus V.A., Jacobo E., Rodriguez A..1995. Improvement in rangeland condition of the Flooding Pampa of Argentina through controlled grazing. *Afr. J. Range For. Sci*, 12 (2): 92-96.
- Dumont B, Fortun-Lamothe L, Jouven M, Thomas M, Tichit M. 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century, 7(6):1028-43. doi: 10.1017/S1751731112002418. Epub 2012 Dec 21.
- Esquivel .2004. Sistemas silvopastoriles-una sólida alternativa de sustentabilidad social, económica y ambiental. X1 Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, FCF, UNaM-EEA Montecarlo, INTA.
- Facelli J.M..1988. Response to grazing alter nine years of cattle exclusion in a Flooding Pampa grassland, Argentina. *Vegetatio*, 78: 21-25.
- Fassola HE, Lacorte SM, Pachas NA, Goldfarb C, Esquivel J, Colcombet L, Crechi RECHI EH, Keller A, Barth SR..2009. Los sistemas silvopastoriles en la región subtropical del NE argentino. *Actas XIII Congreso Forestal Mundial*, Buenos Aires, Argentina, pág 1-8.
- Fernandez Grecco R.. 1987. Pastizales Naturales. Material didáctico. 5º Jornada de producción animal. Ayacucho.
- Fernández ME, Rusch V, Gyenge J, Schlichter T.. 2005. La heterogeneidad de la vegetación en plantaciones forestales del NO de la Patagonia. En: Oosterheld M.; Aguiar MR, Ghersa CM, Paruelo JM (eds.). *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León*. FAUBA, Bs.As, Argentina. pp. 413-442.
- Ferraro D., Oosterheld M..2002. Effect of defoliation on grass growth. A quantitative review. *Oikos* 98:125-133.
- Frangi, J..1975. Sinopsis de las comunidades vegetales y el medio de las Sierras de Tandil (Provincia de Buenos Aires). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 16(4), 293-319.
- Frangi, J. L., Bottino O..1995. Comunidades vegetales de la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Facultad de Agronomía La Plata* 71 (1): 93-133.
- Frangi, J. L., Barrera M.. 1996. Biodiversidad y dinámica de pastizales en la Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. En Sarmiento y Cabido (eds.): 133-164. *Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina* 7. Ed. CYTED-CIELAT.
- Gibon, A.. 2005. Managing grassland for production, the environment and the landscape. Challenges at the farm and the landscape level. *Livestock Production Science*, 96(1), 11-31.
- Gifford, R. M.. 1984. Energy in Australian agricultu-

- re: inputs, outputs, and policies. In *Energy and Agriculture* (pp. 154-168). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gliessman, S.R.. 1998. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Lewis/CRC Press, Boca Raton, FL.
- Golluscio, R.. 2009. Receptividad ganadera: marco teórico y aplicaciones prácticas. *Ecología austral*, 19(3), 215-232.
- Gordon A. M., Newman S. M.. 1997. Temperate Agroforestry Systems. CAB International, New York, USA. CAB INTERNATIONAL, Wallingford, Oxon, UK Pp 270.
- Goward, S. N., Waring, R. H., Dye, D. G., Yang, J..1994. Ecological remote sensing at OTTER: satellite macroscale observations. *Ecological applications*, 4(2), 322-343.
- Grecco, F. R., Mazzanti, A., Echeverría, H. E..1995. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento de forraje de un pastizal natural de la Pampa Deprimida bonaerense (Argentina). *Revista Argentina de Producción Animal*, 15(3-4), 173-176.
- Grigera, G., Oesterheld, M., Durante, M., Pacín, F.. 2007. Evaluación y seguimiento de la productividad forrajera. *Revista Argentina de Producción Animal*, 27(2), 137-148.
- Grime J.P. 1979. Evidence for the coexistence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist*, 111: 1169-1194
- Harpole, W. S., Sullivan, L. L., Lind, E. M., Firn, J., Adler, P. B., Borer, E. T.,...MacDougall, A. S. 2016. Addition of multiple limiting resources reduces grassland diversity. *Nature*, 537(7618), 93.
- Harrison, S., Grace, J. B.. 2007. Biogeographic affinity helps explain productivity-richness relationships at regional and local scales. *The American Naturalist*, 170(S2), S5-S15.
- Heitschmidt, R. K., Stuth, J. W..1991. Grazing management: An ecological perspective. Portland, Or: Timber Press.
- Herrera, L. P., Hermida, V. G., Martínez, G. A., Littera, P., Maceira, N.. 2005. Remote sensing assessment of *Paspalum quadrifarium* grasslands in the Flooding Pampa, Argentina. *Rangeland ecology & management*, 58(4), 406-412.
- Herrera, L. P., Sabatino, M..2010. Campo y ambiente. El valor de los pastizales serranos. *Visión rural*, 17(84).
- Iermanó, M.J., Sarandón, S.J., Tamagno, L. N., Maggio, A. D..2015. Evaluación de la agrobiodiversidad funcional como indicador del "potencial de regulación biótica" en agroecosistemas del sudeste bonaerense. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 114(3), 1-14.
- Igartúa D.V., Monteoliva S.E., Monterubbianesi M.G., Villegas M.S..2003. Sampling at breast height (BH) level of basic density and fibre length for *Eucalyptus globulus ssp. globulus* as prediction for parameters valid for the whole tree. *IAWA Journal* 24 (2):173-184.
- IPCVA, 2009. Condición Corporal en la ganadería de cría. Cuadernillo Técnico N°8 <http://www.ipcva.com.ar/files/ct08.pdf>
- Irisarri G., Oesterheld M., Oyarzabal M., Paruelo J., Durante M..2013. Monitoring the ecosystem service of forage production Earth Observation of Ecosystem Services. CRC Press, 2013 Cap 5. Pp 87-104
- Irisarri J. G. N., Gundel P. E., Clavijo M. D. P., Duran-

- te M., Sosa P. 2013. Estimación de la PPNA y la capacidad de carga por ambientes mediante información satelital en un establecimiento ganadero en la Pampa Deprimida.
- Jacobo E., Rodríguez A. and Deregibus V.A. 2000. Rotational stocking improves winter production of Italian ryegrass on argentinian rangelands. *Journal of Range Management*. 53: 483-488.
- Jacobo E.J., Rodriguez A. M., Bartoloni N., Deregibus V.A. 2006. Rotational grazing effects on rangeland vegetation at a faro scale. *Rangeland Ecology and Management*, 59: 249-257.
- Jacobo E., Rodriguez A., González J., Golluscio R. 2016. Efectos de la intensificación ganadera sobre la eficiencia en el uso de la energía fósil y la conservación del pastizal en la cuenca baja del río Salado, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Agriscientia* 33 (1): 1-14.
- Jaimes F.R., Sabatino M., Herrera, L.P. 2014. Mapeo de pastizales remanentes del Sistema de Tandilia (Buenos Aires): Un diagnóstico de la situación actual. Reunión Argentina de Ecología.
- Jansa J., Bukovská P., Gryndler M.. 2013. Mycorrhizal hyphae as ecologica niche for highly specialized hypersymbionts - or just soil free - riders. *Frontier in plant science*, 8.
- Jones C.. 2008. La vía de carbono líquido. Extracto de *Australian Farm Journal* Edición 338.
- Jones C.. 2011. Carbon that counts. *New England Landcare*, 5.
- Jones C..2014. Mycorrhizal Fungi - Powerhouse of the Soil. *The Natural Farmer*, B 14.
- Kristensen M. J., Frangi J. L..1996. Mesoclimas de roquedales de la Sierra de la Ventana. *Ecología Austral*, 6, 115-122
- Latterra P., Vignolio O. R., Linares M. P., Giaquinta A., Maceira N..2003. Cumulative effects of fire on a tussock pampa grassland. *Journal of Vegetation Science*, 14(1), 43-54.
- Lavado R. S., Taboada M.A..1987. Soil salinization as an effect of grazing in a native grassland soil in the Flooding Pampa of Argentina. *Soil Use and Management*, 3(4), 143-148.
- Lavado R.S., Alconada M..1994. Soil properties behavior on grazed and ungrazed plots of a grassland sodic soil. *Soil technology* 7 (1): 75-81.
- Lavornia J. M., Kristensen M. J., Rosato V..2012. Los líquenes de los roquedales de Tandil. Bioindicadores de la calidad del aire. CINEA (eds.), 87-94.
- Lemaire G., Agnusdei M. G..2000. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In 'Grassland ecophysiology and grazing ecology'. (Eds G Lemaire, J Hodgson, A de Moraes, PC de F Carvalho, C Nabinger) pp. 265–287.
- Lemaire G., Wilkins R., Hodgson J..2005. Challenges for grassland science: managing research priorities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108(2), 99-108.
- León R. J., Bran D., Collantes M., Paruelo J. M., Soriano A..1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral*, 8(2), 125-144.
- León R. J., Burkart S. E..1998. El pastizal de la Pampa Deprimida: estados alternativos. *Ecotrópicos*, 11(2), 121-130.
- Lezama F., Baeza S., Altesor A., Cesa A., Chaneton E. J., Paruelo J. M..2014. Variation of grazing-induced vegetation changes across a large-scale productivity gradient. *Journal of Vegetation Science*, 25(1), 8-21.

- Marino G. D., Miñarro F., Stamatti G., Rodríguez A..2008. Buenas prácticas ganaderas para conservar la vida silvestre de las pampas: una guía para optimizar la producción y conservar la biodiversidad de los pastizales de la Bahía Samborombón y la Cuenca del Río Salado. Buenos Aires, Argentina: Aves Argentinas.
- Mazia N., Moyano J., Pérez L.I., Aguiar S., Garibaldi L.A., Schlichter T..2016. The sign and magnitude of tree-grass interaction along a *global* environmental gradient. *Global Ecology and Biogeography* doi: 10.1111/geb.12518
- McNaughton S.J. 1977. Diversity and stability of ecological communities: a comment on the role of empiricism in ecology. *American Naturalist*, 111:515-525.
- Milchunas D. G., Lauenroth W.K. 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecological Monographs*, 63:327-366.
- Miñarro F. O. y Marino G.D. 2013. Ganadería sustentable de pastizal, producir y conservar es posible. Fundación Vida Silvestre Argentina; Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Aves Argentinas Aop. Pp 66-67
- Modernel P., Rossing W., Corbeels M., Dogliotti S., Picasso V., Tittonell P..2016. Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. *Environmental Research Letters* 11 (2016) 113002 pp21
- Mulder C., Jumpponen A., Högberg P., Huss-Danell K..2002. How plant diversity and legumes affect nitrogen dynamics in experimental grassland communities. *Oecologia*, 133(3), 412-421.
- Nabinger C., de Faccio Carvalho P.C.. 2009. Ecofisiología de sistemas pastoriles: Aplicaciones para su sustentabilidad. *Agrociencia Uruguay* 13 (3): 18-27
- Nabinger C., de Faccio Carvalho P.C., Cassiano Pinto E., Mezzalana J.C., Martins Brambilla D., Boggiano P.. 2011. Servicios ecosistémicos de las praderas naturales: ¿es posible mejorarlos con más productividad? ISSN 1022-1301. 2011. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Vol 19, número 3-4: 27-34
- Niklaus P.A., Wardle D.A., Tate K. R..2006. Effects of plant species diversity and composition on nitrogen cycling and the trace gas balance of soils. *Plant and soil*, 282(1-2), 83-98.
- Nosetto M.D. Jobbagy E.G., Paruelo J.M., 2006. Carbon sequestration in semi-arid rangelands: Comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia. *J. Arid Environment* 67: 142-156.
- NRC, 2016. Nutrient requirements of beef cattle. Eighth Revised Edition, Committee on Nutrient Requirements of Beef Cattle; Board on Agriculture and Natural Resources, Division on Earth and Life Studies. The National Academies Press, Washington, DC. www.nap.edu. DOI: 10.17226/19014
- Oesterheld M., McNaughton S. J..1991. Effect of stress and time for recovery on the amount of compensatory growth after grazing. *Oecologia*, 85(3), 305-313.
- Oesterheld M., Sala O.. 1990. Grazing effect upon seedling establishment: the role of seed and safe-site availability. *Journal of Vegetation Science*, 1: 352-358.
- Oesterheld M., McNaughton S. J.. 1991. Effect of stress and time for recovery on the amount of compensatory growth after grazing. *Oecologia* 85, 305-313.
- Oesterheld M., McNaughton S.J..1991. Interactive

- effect of flooding and grazing on the growth of Serengeti grasses. *Oecologia* 88, 153-156.
- Oesterheld M., DiBella C. M., Kerdtiles H..1998. Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate of rangelands. *Ecological applications*, 8(1), 207-212.
- Oesterheld M., Loreti J., Semmartin M., Paruelo, J.M. 1999. Grazing, fire, and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. pp. 287-306. In: "Ecosystems of disturbed ground" L.R. Walker (ed). Series: Ecosystems of the World. Elsevier
- Oesterheld M., Semmartin M. 2011. Impact of grazing on species composition: Adding complexity to a generalized model. *Austral Ecology*, 36: 881-890.
- Oesterheld M., Paruelo J.M., Oyarzabal M. 2011. Estimación de la productividad primaria neta aérea a partir de diferencias de biomasa y de integración de la radiación absorbida. En: Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales. Ed. Altesor A., Ayala W y Paruelo JM. INIA, Serie FPTA N° 26, Uruguay. pp. 113-120.
- Omacini M., Chaneton E.J., León R.J.C., Batista W.B..1995. Old-field successional dynamics on the Inland Pampa, Argentina. *Journal of Vegetation Science* 6: 309-316
- Otondo, J. y Casal, A., 2016. Arituclo de divulgación: Pastizales naturales, estrategias de manejo para mejorar su uso actual. INTA Cuenca del Salado, 30 de junio 2016. <https://inta.gov.ar/documentos/pastizales-naturales-estrategias-de-manejo-para-mejorar-su-uso-actual>
- Parera A., Carriquiry E.. 2014. Manual de prácticas rurales asociadas al Índice de Conservación de Pastizales Naturales (ICP). Publicación realizada por Aves Uruguay para el proyecto de Incentivos a la Conservación de Pastizales Naturales del Cono Sur, 204 pp.
- Paruelo J.M., Oesterheld M., Di Bella M., Arzadum M., Lafontaine J., Cahuepé M., Rebella C..2000. Estimation on primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. *Applied Vegetation Science* 3:185-195.
- Paruelo J.M., Di Bella C., Milkovic M. (Eds.). 2014. Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica: Sus aplicaciones en Agronomía y Ciencias Ambientales. Ediciones Hemisferio Sur.
- Parsons A. J., Dumont B. 2003. Spatial heterogeneity and grazing processes. *Animal research*, 52(2), 161-179.
- Perelman S.B, León R.J.C., Oesterheld M.. 2001. Cross-Scale vegetation patterns of Flooding Pampa grasslands. *J. Ecology*, 89: 562-577.
- Pérez R., Pérez M., Lavarello Herbin A., Pagani V., Mangold D., Galetto M.. 2015. Manejo ecológico de *Cynodon dactylon* mediante verdeos consociados. Un proceso de investigación acción participativa en el sur de Santa Fe. *Revista de Facultad de Agronomía de La Plata*, 114 (Núm. Esp.1) Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio: 38-44
- Perez Cazar L..2016. Ser productivos y sustentables, es posible. *RIA Revista Investigación Agropecuaria* 42 (1): 14-18.
- Pimentel D., Hurd L.E., Bellotti A.C., Forster M.J., Oka I.N., Sholes O.D., Whitman R.J..1973. Food production and the energy crisis. *Science* 182:443-449.
- Pinheiro Machado L. C.. 2006. Pastoreo Racional Voisin: Tecnología agroecológica para el tercer milenio. 1 Ed. Hemisferio Sur. PP 253 ISBN 9789505045761.

- Posse G., Oesterheld M., Di Bella C. M..2005. Landscape, soil and meteorological influences on canopy dynamics of northern flooding Pampa grasslands, Argentina. *Applied Vegetation Science*, 8(1), 49-56.
- Priano M.E., FuséV.S., Gere J.I., Berkovic A.M., Williams K.E., Guzmán S.A., Gratton R., Juliarena M.P. 2014. Tree plantations on a grassland region: effects on methane uptake by soils. *Agroforestry Systems* 88: 187-191.
- Quiñones Martorello A.S. 2017. Respuestas morfo-fisiológicas de especies leñosas a condiciones ambientales de estrés múltiple: una contribución al desarrollo de plantaciones forestales en la Pampa Deprimida. *Fac. Cs Agrarias, UNMDP*. pp 251.
- Refsgaard K., Halberg N., Kristensen E. S..1998. Energy utilization in crop and dairy production in organic and conventional livestock production systems. *Agricultural systems*, 57(4), 599-630.
- Richards J. H..1993. Physiology of plants recovering from defoliation. In *Proceedings of the XVII international grassland congress (Vol. 1993, pp. 85-94)*. SIR Publishing Wellington.
- Rodríguez A., Jacobo E..2012. Pastoreo controlado: una herramienta para el manejo sustentable de los pastizales naturales en sistemas ganaderos extensivos: buenas prácticas para una ganadería sustentable de pastizal: kit de extensión para las pampas y campos / 1a ed. - Buenos Aires : Fund. Vida Silvestre Argentina; Aves Argentinas Aop, 2012. 8 p. : il.
- Roitman G., Preliasco P. 2012. Guía para el reconocimiento de herbáceas de pampa deprimida: características para su manejo: buenas prácticas para el manejo sustentable de pastizal: kit de Extensión para pampas y campos. Buenos Aires. Fundación Vida Silvestre Argentina, Aves Argentinas. 128 p.
- Rusch G., Oesterheld M. 1997. Relationship between productivity and species and functional group diversity in grazed and non-grazed Pampas grassland. *Oikos*, 78: 519-526.
- Sala O., Oesterheld M., León R.J.C., Soriano A. 1986. Grazing effects upon plant community structure in subhumid grassland of Argentina. *Vegetatio*, 67: 27-32.
- Sala O. E., Paruelo J.M..1997. Ecosystem services in grasslands. Pages 237-252 in G.C. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. IslandPress, Washington, D.C
- Sanderson M. A., Skinner R. H., Barker D. J., Edwards G. R., Tracy B. F., Wedin D. A..2004. Plant species diversity and management of temperate forage and grazing land ecosystems. *Crop Science*, 44(4), 1132-1144.
- Sarandón S.J., Flores C.C..2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Colección libros de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Capítulo, 5, 131-158.
- Semmartin M., Oesterheld M. 2001. Effects of grazing pattern and nitrogen availability on primary productivity. *Oecologia*, 126: 225-230.
- Semmartin M., Oyarzabal J., Loreti J., Oesterheld M.. 2007. Controls of primary productivity and nutrient cycling in a temperate grassland with year-round production. *Austral Ecology*, 32: 416-428
- Shaver G. R., Bret-Harte M. S., Jones M. H., Johnstone J., Gough L., Laundre J., Chapin F. S. .2001. Species composition interacts with fertilizer to control long-term change in tundra productivity. *Ecology*, 82(11), 3163-3181.
- Silvertown J., Poulton P., Johnston E., Edwards G., Heard M., Biss P. M..2006. The Park Grass Expe-

- riment 1856–2006: its contribution to ecology. *Journal of Ecology*, 94(4), 801-814.
- Soriano A. 1992. Río de la Plata grasslands. *Natural grasslands*. Pp 367-407.
- Spirito F., Yahdjian L., Tognetti P. M., Chaneton E. J..2014. Soil ecosystem function under native and exotic plant assemblages as alternative states of successional grasslands. *Acta oecologica*, 54, 4-12.
- Steinbeiss S., Bessler H., Engels C., Temperton V. M., Buchmann N., Roscher C., ... Gleixner G. 2008. Plant diversity positively affects short-term soil carbon storage in experimental grasslands. *Global Change Biology*, 14(12), 2937-2949.
- Swanton C. J., Murphy S. D., Hume D. J., Clements D. R..1996. Recent improvements in the energy efficiency of agriculture: case studies from Ontario, Canada. *Agricultural Systems*, 52(4), 399-418.
- Taboada M. A., Lavado R. S. .1988. Grazing effects of the bulk density in a Natraquoll of the flooding Pampa of Argentina. *Journal of Range Management*, 500-503.
- Taboada M.A., Micucci S.N..2009. Respuestas al pastoreo rotativo de tres suelos de la Pampa Deprimida. *Ciencia de Suelo (Argentina)* 27 (2):147-157.
- Tilman D..1988. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. *Monographs in Population Biology* 26. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.
- Tittonell P..2014. Ecological intensification-sustainable by nature. *Current Opinion on Environmental Sustainability* 8:53-61.
- Trlica M. J., Buwai M., Menke J. W..1977. Effects of rest following defoliations on the recovery of several range species. *Journal of Range Management*, 21-27.
- Trlica M.J..1999. Grass growth and response to grazing. Colorado State University. Cooperative Extension. Range. Natural Resource Series, (6.108).
- Uhlin H. E..1999. Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, ecosystems & environment*, 73(1), 63-81.
- Valicenti R., Farina E., Scaramuzzino R., DAlfonso C..2010. Ordenación de la vegetación en el paisaje Boca de la Sierras (Azul, Sistema de Tandilia) RASADep Cambios de uso de la tierra. Causas, consecuencias y mitigación. *Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 1, 111-122.
- van Breemen N..1995. Nutrient cycling strategies. *Plant Soil*, 168-169: 321-326.
- Vázquez P.M., Cabria F.N., Rojas M.C. 2009. Flooding risk in the Salado river basin. *Ciencia del Suelo* 27: 237-246.
- Vecchio M. C., Golluscio R. A., Cordero M. I..2008. Cálculo de la receptividad ganadera a escala de potrero en pastizales de la Pampa Deprimida. *Ecología austral*, 18(2), 213-222.
- Vecchio M. C.. 2014. Modificaciones en la vegetación y el suelo inducidos por el manejo del pastoreo en la estepa de halófitas de la Pampa Deprimida. Escuela de Posgrado "Alberto Soriano"-UBA
- Vervoorst F.B. 1967. Las comunidades vegetales de la depresión del Salado (Prov. De Buenos Aires). *Serie Fitogeográfica* 7. INTA. Buenos Aires.
- Viglizzo E.F.. 2014. Sistemas ganaderos y tecnología: Estado actual y prospectiva. *Sistemas ganaderos y tecnología: Estado actual y prospectiva (Capítulo 2)*. En: Manejo de la Cría Vacuna en la

- Región Pampeana. Ed: MA Cauhepé. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, pp 19-37.
- Viglizzo E.F., Frank F.C..2014.Energy use in agriculture: Argentina compared with other countries. Energy Consumption: Impacts of Human Activity, Current and Future Challenges, Environmental and Socio-Economic Effects, ed Reiter S (NOVA Science Publishers, New York), pp 77-98.
- Voisin, A..1959. Soil, grass, and cancer. ISBN-13:978-0911311648.
- Wedin D. A., Tilman D..1996. Influence of nitrogen loading and species composition on the carbon balance of grasslands. *Science*, 274(5293), 1720-1723.
- Weigelt A., Weisser W. W., Buchmann N., Scherer-Lorenzen M..2009. Biodiversity for multifunctional grasslands: equal productivity in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. *Biogeosciences*, 6(8), 1695-1706.
- White L. D..1973. Native forage resources and their potential. *Range Resources of the Southeastern United States*, (rangeresourceso), 1-17.
- Yagueddú C., Comparatore V. M., Cardinali F. J., Martínez Tosto A. C., Bevacqua S. V..2006. *Cuphea glutinosa* (Lythraceae) en sierras del sistema de Tandilia: Morfología y Ambiente. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 41(3-4), 285-292.
- Young A.. 1997. *Agroforestry for soil management*. 2nd Ed. CAB International, Wallingford, UK (in association with ICRAF, Nairobi, Kenya). pp 320 .

CAPÍTULO 2

MANEJO SOSTENIBLE DEL PARASITISMO GASTROINTESTINAL EN BOVINOS EN SISTEMAS SILVOPASTORILES



Javier Schapiro¹



Andrea Pantiu²

1. Área de Parasitología, Instituto de Patobiología, CICVyA INTA Castelar.
2. Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Montecarlo (Misiones).

Correo electrónico: schapiro.javier@inta.gob.ar y pantiu.andrea@inta.gob.ar

Resumen

Las infecciones por nematodos gastrointestinales están ampliamente distribuidas y se consideran una de las principales causas de pérdidas en producción. En las últimas décadas el control antiparasitario se basó casi exclusivamente en el uso de drogas antihelmínticas cuyo uso frecuente, indiscriminado, y carente de criterio epidemiológico, condujo a la selección de poblaciones de nematodos resistentes. Esta situación amerita plantear cambios en el modo de uso, así como también desarrollar herramientas alternativas o complementarias al control químico. La investigación de extractos de plantas para el control de parásitos en medicina veterinaria tuvo un crecimiento notorio en los últimos 30 años y desde entonces existe un marcado interés para considerarlo dentro de las estrategias no químicas para el control. Dentro de ellas se destacan las plantas polifenólicas o la corteza de ciertos árboles (*Eucalyptus*, Pino, Acacia, Quebracho, entre otros) que contienen diferentes concentraciones de taninos condensados en su composición. Asimismo, en las principales zonas forestales de Argentina, ya desde fines de la década de 1990 se están incorporando los sistemas silvopastoriles como un nuevo modelo productivo. Surgen como alternativa a los sistemas de forestación pura y producción bovina a cielo abierto donde reúnen en un mismo manejo a dos actividades diferentes: ganadería y forestal. Aquí se favorece el desarrollo de una fauna edáfica que participan activamente en los procesos de descomposición de la materia fecal con la consiguiente disminución de larvas infectivas en las pasturas. Este beneficio agroecológico logra una mayor sustentabilidad ambiental y que podría contribuir al manejo de los parásitos.

Palabras claves: agroecología; sistema silvopastoril; nematodos gastrointestinales; resistencia antihelmíntica; fauna edáfica; manejo sostenible; sustentabilidad ambiental.

Abstract

Gastrointestinal nematode infections are widespread and are considered a major cause of production losses. In recent decades, antiparasitic control was based almost exclusively on the use of anthelmintic drugs whose frequent, indiscriminate use, and lacking epidemiological criteria, led to the selection of populations of resistant nematodes. This situation deserves to propose changes in the way of use, as well as to develop alternative or complementary tools to chemical control. The research of plant extracts for the control of parasites in veterinary medicine had a remarkable growth in the last 30 years and since then there is a marked interest to consider it within the non-chemical strategies for the control. Among them are polyphenolic plants or the bark of certain trees (*Eucalyptus*, Pine, Acacia, Quebracho, among others) that contain different concentrations of condensed tannins in their composition. Likewise, in the main forest areas of Argentina, silvopastoral systems have already been incorporated as a new productive model since the end of the 1990s. They arise as an alternative to the systems of pure afforestation and pastoral system, where they bring together two different activities in the same management: livestock and forestry. Here the development of an edaphic fauna is favored, actively participating in the processes of decomposition of the faeces with the consequent decrease of infective larvae in the pastures. This agroecological benefit achieves greater environmental sustainability and could contribute to the management of parasites.

Keywords: agroecology; silvopastoral system; gastrointestinal nematodes; anthelmintic resistance; edaphic fauna; sustainable management; environmental sustainability.

1. Introducción

Gastroenteritis verminosa en producción bovina y la resistencia antihelmíntica

Dentro de las enfermedades que afectan a los bovinos en producción, la gastroenteritis verminosa continúa siendo una de las enfermedades parasitarias más frecuentes y que causa importantes pérdidas económicas a nivel mundial. Es ocasionada por nematodos parásitos pertenecientes a diversas familias y géneros que afectan el abomaso e intestinos delgado y grueso, entre los que se destacan *Haemonchus*, *Ostertagia*, *Trichostrongylus*, *Cooperia*, y *Oesophagostomum*. Habitualmente se presentan en forma mixta o pluriespecífica, es decir que cada hospedador puede albergar simultáneamente a más de una especie parasitaria. Las pérdidas directas están relacionadas con la merma de producción de carne, leche, y en casos extremos muerte de los animales severamente afectados. Durante las últimas décadas, el control antiparasitario se basó casi exclusivamente en el empleo de antihelmínticos de síntesis, los que en la mayoría de las oportunidades son administrados sin aplicar conocimientos sobre la epidemiología de los parásitos y sin realizar un diagnóstico previo. La utilización constante e inadecuada de los mismos grupos químicos seleccionó poblaciones de nematodos resistentes. Esta resistencia a los antiparasitarios se encuentra ampliamente distribuida en nuestro país y en algunos lugares torna ineficiente la producción animal, tal es el caso de establecimientos en donde hay ausencia de respuesta al tratamiento frente a todos los grupos químicos. En función a lo expuesto, sumado a la baja eficiencia y rentabilidad de algunos sistemas de producción animal y al consecuente deterioro del ambiente, obligó a buscar alternativas que maximicen la eficiencia productiva, económica y el equilibrio natural con el

entorno, planteando cambios en el modo de uso de los antiparasitarios así como impulsar la búsqueda de herramientas alternativas o complementarias al control químico. En este sentido, la investigación de extractos de plantas para el control de parásitos en medicina veterinaria tuvo un crecimiento notorio en los últimos 30 años y desde entonces existe un marcado interés para considerarlo dentro de las estrategias no químicas para el control antiparasitario. Dentro de ellas se destacan las plantas polifenólicas o la corteza de ciertos árboles (*Eucaliptus*, Pino, Acacia, Quebracho, entre otros) que contienen diferentes concentraciones de taninos condensados (TC) en su composición. Precisamente es sobre estos metabolitos secundarios de las plantas (MSP) que se enfocaron muchos trabajos de investigación dado sus efectos beneficiosos sobre la nutrición y sanidad animal, obteniendo mejoras en los parámetros productivos debidas principalmente a un mejor aprovechamiento de la proteína de la dieta y a una mayor absorción de aminoácidos en el intestino.

Sumado a esto, en algunas regiones tropicales de América Latina, se están introduciendo alternativas al pastoreo tradicional de los rumiantes considerando el uso de diversas especies vegetales que incluyen leguminosas terrestres, arbustivas y arbóreas, con importantes repercusiones en la epidemiología de las formas libres de los parásitos (FAO, 2003). En las principales zonas forestales de Argentina, ya desde fines de la década de 1990 se está incorporando la actividad ganadera a los montes nativos como alternativa al pastoreo tradicional a cielo abierto (CA). Estos sistemas llamados silvopastoriles (SSP) más allá de reunir en un mismo manejo a dos actividades diferentes (gana-

dería y forestal), presenta entre las innumerables bondades la capacidad de contribuir de forma natural a reducir las infestaciones por endoparásitos a mediano y largo plazo, por lo que son considerados como una importante estrategia en el manejo integrado para su control (Soca M., 2007) (Foto 1). Los SSP mejoran la calidad y el balance nutricional

de la dieta, brindando una alta disponibilidad de biomasa comestible, de la cual el 75-90% está representado por la pastura y el porcentaje restante por el follaje de los árboles. La dieta presenta un contenido de proteína bruta de 11-16% que permite optimizar la eficiencia en la producción de leche y carne por hectárea (Onel López-Vigoa, 2017).



Foto 1. Pastoreo de novillos de raza Brangus en sistema silvopastoril de *Pinus taeda* y pasto jesuita gigante (*Axonopus catarinensis*) en Misiones. Foto: Javier SCHAPIRO y Andrea PANTIU.

2. Sistemas silvopastoriles: una forma de crecimiento sustentable en Argentina

Los sistemas silvopastoriles representan una modalidad de uso de la tierra donde coexisten interacciones ecológicas y/o económicas, positivas y negativas entre los componentes arbóreos, forrajeros y ganaderos, bajo un manejo sustentable (Cameron et al., 1994).

Este sistema productivo posee dos componentes primarios, uno arbóreo (el término “silvo” significa bosque, independientemente de cómo se haya generado: por plantación, siembra o regeneración natural) y otro herbáceo o forrajero (“pastoril”) que es la base de sustentación de la producción secundaria (bovinos) (Esquivel et al., 2004).

Al igual que en sistemas naturales donde estas dos formas de vida coexisten, en ellas se desarrollan interacciones ecológicas de competencia y facilitación, que van a tener un efecto neto diferente de acuerdo a las especies intervinientes, las características ambientales, la distribución espacial de los distintos componentes y la evolución temporal del sistema (Fernández, 2003).

La presencia de árboles en sistemas ganaderos puede contribuir de manera directa regulando o contrarrestando la intensidad de factores climáticos adversos para el animal por medio de la sombra que protege de las temperaturas extremas y de la radiación. En condiciones tropicales se comprobó que bajo la copa de los árboles la temperatura es en promedio 2°C a 3°C inferior que la temperatura ambiente (Wilson y Ludlow, 1991). Esto representa efectos benéficos sobre el comportamiento ingestivo (mayor consumo de alimento), productivo (incrementando la eficiencia de la conversión alimenticia y mejorando la producción de carne y leche), reproductivo (pubertad temprana, aumento de la tasa de

concepción y menores pérdidas embrionarias). A su vez, los árboles interfieren parcialmente el paso de la radiación solar hacia la superficie corporal del animal lo que reduce la carga calórica absorbida redundando en un menor estrés calórico y disminuyendo la incidencia de cáncer de piel. En contraposición, el ganado ejerce efectos negativos sobre los árboles (especialmente en sus estadios juveniles) provocándoles daños físicos (Pezo e Ibrahim, 1998).

Para ser estable el uso de la tierra, se deberán respetar aquellos mecanismos o servicios que garanticen el equilibrio del agroecosistema, como por ejemplo el ciclaje de nutrientes y la conservación del suelo. La mayoría de los árboles presenta una relativa baja demanda de nutrientes y una alta tolerancia a la acidez del suelo y, por otro lado, permiten capturar y retener el carbono atmosférico en forma muy eficiente, cuya acumulación en el aire produce el efecto invernadero. Además, las copas disminuyen el impacto de las lluvias que provocan erosión y compactación del suelo (Pedreira et al. 2013).

El árbol y la pastura presentan enormes diferencias morfológicas, tanto en la parte aérea como en el sistema radicular, pero por estar compartiendo el mismo espacio, satisfacen sus necesidades aprovechando las mismas fuentes de los recursos tales como luz, agua y nutrientes.

Debido a esto, es importante conocer los mecanismos básicos de esta competencia buscando maximizar la producción biológica y su interacción con el animal, permitiendo obtener un valor agregado (carne y leche) al sistema productivo (Mayer, 2017). Teniendo en consideración que los árboles tienen sus copas por encima de las especies forra-

jas, estos interfieren con el paso de la radiación lumínica al estrato herbáceo (Pezo e Ibrahim, 1998). Shelton et al., (1987) sostienen que el principal factor limitante para el crecimiento de las pasturas en los SSP es el nivel de sombra ejercido por los árboles, siendo la cantidad y distribución de esta una de las variables más estudiadas que incide sobre el componente forrajero y que afecta la persistencia productiva del mismo (Mayer, 2017).

Así el sombreado puede provocar cambios morfológicos y fenológicos en las especies forrajeras, los cuales funcionan como mecanismos de adaptación a la baja incidencia de la luminosidad y reducción del potencial fotosintético de las plantas. Estas tienden a desarrollar hojas más largas con el fin de aumentar su captación de luz, y menor grosor para reducir la tasa de transpiración (Pezo e Ibrahim, 1998). Varios autores (Burton et al., 1959; Samarakoon et al., 1990; Zelada 1996) observaron una reducción en el desarrollo radicular a medida que disminuye la radiación lumínica, redundando en una menor capacidad para tolerar la sequía y para captar nutrientes (Pezo e Ibrahim, 1998).

Por lo tanto, en los SSP se debe tener en cuenta el tipo de pastoreo y ajustar la carga animal en función del nivel de oferta forrajera, ya que los animales obtienen sus alimentos de las pasturas incidiendo directamente sobre las mismas por la defoliación selectiva y el pisoteo (Humphreys, 1991; Pezo et al., 1992 y Pezo e Ibrahim, 1998).

En contraposición, el sombreado mejora la calidad de la pastura ya que disminuye el contenido de los polisacáridos de la pared celular y mejora el contenido de proteína bruta (PB) con el consiguiente aumento de la degradabilidad de los mismos (Mayer, 2017).

Por todo lo expuesto, podemos decir que las interacciones entre los distintos componentes de un SSP (árbol, pastura, animal, suelo y agua) son dinámicas y complejas con relaciones activas que generan cambios entre estos y la necesidad de un manejo intensivo (Ojeda et al., 2003). El conocimiento de los diferentes grados de interacción y su manejo son claves para la utilización racional y sustentable

del sistema, siendo algunos de ellos todavía una incógnita (Kurtz y Pavetti, 2006).

En las últimas décadas, especialmente en las regiones más cálidas de América, se han desarrollado en el marco de los SSP diferentes sistemas productivos ganaderos de carne y de leche asociados con especies arbóreas y arbustivas (Mayer, 2017). A su vez, los SSP son un elemento cada vez más característico del paisaje misionero y del NE de la provincia de Corrientes (Esquivel et al., 2004; Fassola et al., 2009; Lacorte y Esquivel, 2009; Cubbage, 2011; Houriet et al., 2012; Pavetti et al., 2012 y Peri, 2012).

Tanto productores forestales como ganaderos adoptaron estos sistemas debido a las ventajas ambientales, económicas y sociales que presentan, lo cual generó una fuerte demanda en nuevas tecnologías principalmente en la obtención de especies forrajeras adaptadas a las condiciones de sombra (Esquivel et al., 2004; Frey, 2009; Frey et al., 2012 y Pachas et al., 2012). Las bases de técnicas de manejo de este sistema comienzan a fundamentarse a partir de mediados de la década de 1980, donde se inician gran parte de los estudios relacionados a los componentes forestal y forrajero (Lacorte y Esquivel, 2009; Colcombet et al., 2012; Peri, 2012), y en menor medida al componente animal.

En los SSP de la provincia de Misiones, las pasturas más difundidas son *Brachiaria brizantha* y *Axonopus catarinensis* con plantaciones principalmente de Pino (*Pinus elliottii*, *Pinus taeda* y Pino híbrido) y en menor medida *Eucalyptus grandis* (Esquivel et al., 2004).

En estos sistemas, es característica la implantación de especies forestales de rápido crecimiento en densidades de plantación menores a las convencionales, con el fin de obtener rentas a mediano y largo plazo por la producción de madera de alta calidad, donde al mismo tiempo se utiliza el potencial ganadero del terreno para la obtención de beneficios económicos representados por la producción de carne y leche (Frey G.E., 2009).

Se trata de un sistema dinámico, complejo y continuo, donde para garantizar el desarrollo y su efectividad se debe conocerlo y manejarlo a la perfec-

ción para lograr un equilibrio de competencia entre el árbol, la pastura y el animal, y donde el objetivo del sistema no sea maximizar la respuesta productiva individual sino la suma del conjunto de ellos.

Es muy importante definir el componente forestal de manera de producir maderas de calidad con manejos intensivos complementarios como raleos con podas, cuyo principal objetivo es permitir la entrada de luz solar necesaria para el desarrollo y crecimiento de la pastura.

La poda consiste en la eliminación de las ramas basales de los árboles, logrando levantar la altura de las copas y reducir su desarrollo. Esta práctica silvícola además permite mejorar la calidad de la madera, buscando que sea libre de nudos o defectos. La altura de poda debe respetar una proporción de copa que en los primeros años corresponda al 50% de la altura total y en los siguientes deje por lo menos 3 metros de copa remanente (Esquivel, 2012).

El raleo es una práctica silvícola que reduce la población de árboles y regula el área basal del rodal, con el objetivo de obtener árboles más gruesos y de diámetros superiores, redistribuyendo y concentrando el potencial de crecimiento en los individuos seleccionados para mejorar y aumentar la calidad de la masa forestal (Kurtz y Pavetti, 2006). Deben ser anticipados, sucesivos, selectivos y con fechas muy rígidas. Un retraso en el raleo activará el mecanismo de sobrevivencia en la oscuridad de las pasturas y la formación de un manto de hojas que limitará la capacidad de rebrote de las pasturas (Esquivel, 2012).

Se busca que con este manejo de podas y raleos se pueda lograr una disponibilidad de luz del 50%, nivel que según algunos investigadores (Pavetti et al., 1999; Peri, 1999; Lacorte et al., 2004; Fassola et al., 2005) permite mayor producción de forraje y carne

Definida la implementación de un SSP, varias son las configuraciones de plantación que se pueden realizar. En términos generales, estos sistemas se desarrollan con densidades menores a las forestaciones tradicionales, las que generalmente utilizan un distanciamiento entre hileras de 3 a 4

metros. Aquí, se reemplazan por mayores distancias (entre 5 a 7 metros) que evitan realizar tareas de raleos tempranos. Recientemente se comenzaron a desarrollar otras configuraciones de plantación denominadas “líneos apareados” o “en callejones”, las cuales consisten en juntar dos o tres líneas a distancias de 4 o 5 metros y separarlos con callejones de 8 a 20 metros.

En todos los casos, para definir las densidades iniciales hay que tener en cuenta la calidad genética de los árboles, considerando una relación inversa entre calidad y densidad de siembra. De esta manera aumentan las posibilidades de seleccionar especies para llegar a la densidad ideal (Esquivel, 2012).

Por lo expuesto anteriormente respecto del crecimiento de las pasturas con cierto nivel de sombreado y competencia con el componente forestal, se recomienda que el pastoreo sea rotativo, para que le permita a la pastura descansar por un periodo de tiempo lo suficientemente largo como para que recuperen sus reservas y puedan volver a rebrotar.

La densidad de pastoreo se define en función a la pastura implantada. Cuando es *Brachiaria brizantha*, se deben usar cargas de hasta 2,5 a 3 cab/ha y el pastoreo debe comenzar en primavera cuando el pasto alcanza 1 m de altura. Si se implantó *Axonopus catarinensis* Valls (Pasto Jesuita gigante), se puede trabajar con cargas de hasta 2,5 a 3,5 cab/ha, y los animales deben iniciar el pastoreo cuando el pasto alcance 60 a 80 cm de altura (Foto 2).

En ambos casos deberán terminar el pastoreo a los 25 cm a 30 cm, ya que por debajo de esta altura la planta no acumula reservas para el rebrote, lo que ocasionaría una caída en los rendimientos y favorecimiento de aparición de malezas, y además para que las hojas de los pinos (acículas) caigan perpendicularmente al suelo y queden debajo de la pastura, debido a que si caen horizontalmente cubren el forraje y evitan su crecimiento (Rossner et al., 2008). En todos los casos se realiza suplementación mineral considerando el calendario sanitario en base al objetivo de la producción ganadera y principales enfermedades que afectan en la región (Foto 3).



Foto 2. Altura ideal de la pastura para iniciar el pastoreo de los animales.

Foto: Javier SCHAPIRO y Andrea PANTIU.



Foto 3. Sitios para la suplementación mineral en un sistema silvopastoril de Montecarlo (Misiones).

Foto: Javier SCHAPIRO y Andrea PANTIU.

Debido a la importancia que tienen los SSP tanto en las regiones con climas tropicales, subtropicales y templado-fríos, se deberían continuar los estudios en estos sistemas evaluando diversas especies arbóreas y arbustivas, así como también especies forrajeras anuales y perennes.

Además, se debería profundizar el impacto de la capacidad de carga y tipo de animal sobre la evolución de la calidad y producción de la vegetación herbácea acompañante, buscando optimizar la pro-

ducción de carne o leche, manteniendo los pilares básicos de sustentabilidad productiva, social, económica y ambiental (Mayer, 2017).

Indudablemente, el empleo de estos sistemas productivos puede ser una buena alternativa para reducir los impactos ambientales y de enfermedades sobre el ganado, pero su uso aún no está masivamente adoptado debido a la escasa información que se conoce sobre la salud y productividad de ganado criado bajo estas condiciones.

3. Factores que influyen en el comportamiento de los nematodos gastrointestinales en los sistemas silvopastoriles

Los SSP pueden contribuir a reducir las infestaciones por nematodos gastrointestinales (NGI) en el contexto de un manejo integrado de control antiparasitario. La relación que existe entre el proceso de descomposición de la materia fecal con la dinámica parasitológica de los nematodos es uno de los factores más determinantes en el comportamiento general de estas parasitosis. Es de destacar que en ellos se favorece el desarrollo de una fauna edáfica representada principalmente por coleópteros coprófagos que participan activamente en los mencionados procesos con la consiguiente disminución del número de huevos y de larvas infectivas de NGI, disminuyendo así la contaminación e infectividad de las pasturas (Foto 4) (Mildrey Soca, 2002).

Adicionalmente, estos sistemas favorecen también el incremento de la fauna benéfica del suelo (Sánchez et al., 2011) representada por lombrices, escarabajos estercoleros, hormigas, colémbolos, gusanos, entre otros organismos que degradan y entierran rápidamente la materia fecal contribuyendo a la aireación y descompactación del suelo, incrementando así la fertilidad de las pasturas por la incorporación constante de nutrientes (Foto 5) (Martínez y Lumaret, 2006).

De esta manera se constituyen en enemigos naturales de los parásitos que afectan al ganado porque ejercen efectos nocivos sobre las fases no parasitarias del ciclo biológico de los NGI, los cuales son destruidos y/o enterrados en el suelo. Además, modifican la calidad y cantidad de la materia fecal, exponiendo a los huevos y a las larvas a la acción de otros depredadores (Quiroz, 2002). También se ven afectados los estadios de L_1 y L_2 que normalmente se alimentan de bacterias que se desarro-

llan en la materia fecal, generando la interrupción de los ciclos biológicos con la consiguiente disminución de la disponibilidad de estadios infectivos para el ganado. En este sentido, algunos trabajos científicos compararon la velocidad de descomposición de la materia fecal de bovinos mantenidos bajo un SSP respecto a un sistema de pastoreo tradicional a cielo abierto (CA) y su relación con la dinámica poblacional parasitaria. Mildrey Soca et al. (2002) observaron que en los SSP se producía el 94% de la descomposición de las materias fecales a los 7 días de ser excretadas, mientras que en el sistema sin árboles la descomposición fue más lenta alcanzando apenas el 40% en el mismo período de tiempo.

Asimismo, el recuento de huevos por gramo de materia fecal (HPG) y el porcentaje de infestación larval en la materia fecal fueron significativamente inferiores en el SSP.

La mayor cantidad y diversidad biológica en estos sistemas se vincula con la presencia de los árboles, que proporcionan condiciones adecuadas de humedad y temperatura, mayores contenidos de materia orgánica, deposición de hojarasca y un mayor reciclaje de nutrientes. Esto se hace más evidente en presencia de asociaciones de gramíneas y leguminosas, que permiten condiciones ideales para una actividad biológica intensa en el suelo (Alonso, 2003; Harvey, 2003).

Por el contrario, en los sistemas a cielo abierto (Foto 6) se observó que la mayor permanencia de las materias fecales en el sistema mantiene las formas infectivas en el ambiente. Esto se ve favorecido por la formación de una capa costrosa superficial que durante la época poco lluviosa protege a los



Foto 4. Descomposición de la materia fecal en un SSP, favorecida por la fauna edáfica. *Foto: Javier SCHAPIRO y Andrea PANTIU.*



Foto 5. Fauna benéfica del suelo representada por lombrices que degradan y entierran rápidamente la materia fecal contribuyendo a la aireación y descompactación del suelo. *Foto: Javier SCHAPIRO y Andrea PANTIU.*

huevos y a las larvas infectivas de las adversidades climáticas y de la acción de los depredadores, constituyendo un peligro potencial como reservorio permanente para estas parasitosis. Fiel et al. (2000) informaron que las precipitaciones contribuyen significativamente a la migración de las larvas, a través de los procesos de desintegración y dispersión de las excretas por el pastizal, las cuales se hacen máximas en las épocas de lluvia.

También se observó que en los SSP la relación de la altura del pasto e infectividad de la pastura es determinante en el comportamiento estacional de las parasitosis gastrointestinales. Los animales disponen de una mayor cantidad de biomasa comestible, lo que les permite hacer una mejor selección de los alimentos. Esta disponibilidad, unida al hábito del ramoneo de las arbóreas, propicia a que los animales se alimenten principalmente de las partes más altas de los pastos. Esto disminuye el consumo cercano al suelo y con ello las infestaciones parasitarias ya que la mayor cantidad de larvas

infectivas (L_3) se localizan dentro de los primeros 25 cm desde el suelo (Foto 7).

En este sentido la altura del pasto es siempre superior en los SSP respecto a los sistemas CA. En consecuencia, la alta disponibilidad de materia seca (MS) produce una mayor dilución de las larvas en la pastura disminuyendo los niveles de infectividad.

Además, la alta disponibilidad de alimentos en estos sistemas disminuye la presión de pastoreo y los consumos cercanos a las deposiciones. Según Pezo et al. (1992), cuando la disponibilidad de alimentos es alta los animales no solo rechazan el forraje contaminado por la materia fecal sino también las áreas circundantes disminuyendo los riesgos de reinfestación.

En consecuencia, y en concordancia a lo expresado por Hoste (2002), se puede afirmar que los árboles, los arbustos y las hierbas constituyen un ambiente menos favorable para la infestación parasitaria en comparación con el pastoreo natural.

La presencia de los árboles en los pastizales



Foto 6. Sistema a cielo abierto en Montecarlo (Misiones).

Foto: Javier SCHAPIRO y Andrea PANTIU.



Foto 7. Sistema silvopastoril en Montecarlo (Misiones) donde se puede observar la elevada cantidad de biomasa comestible y nivel adecuado de sombra.

Foto: Javier SCHAPIRO y Andrea PANTIU.

contribuye significativamente a mejorar el valor nutritivo de la dieta de los animales. Los aportes proteicos y de minerales facilitan el rápido crecimiento y un mejor desarrollo corporal fundamentalmente en los animales en crecimiento. Según Coop y Kyriazakis (2001) un nivel nutricional adecuado con reservas proteicas mejora la tolerancia a las enfermedades. Torres-Acosta (2002) afirmaron que animales que recibieron dietas altas en proteína mostraron efectos patológicos y signos clínicos menos severos en relación a los que consumen bajos valores de proteína.

Este beneficio agroecológico logra una mayor sustentabilidad ambiental y es uno de los métodos que podrían contribuir al manejo sostenible de las parasitosis gastrointestinales. Desde hace unos años a esta parte, es una de las líneas de trabajo priorizadas dentro del Área de Parasitología del Instituto de Patobiología de INTA Castelar y se están realizando importantes actividades de investigación conjuntas entre INTA Castelar y la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Montecarlo (Misiones).

4. ¿Qué estamos investigando al respecto?

El objetivo de nuestro trabajo es comparar la dinámica poblacional de los nematodos gastrointestinales de los bovinos en un sistema silvopastoril respecto a otro con pastoreo a cielo abierto mediante estudios epidemiológicos. En ambos sistemas se medirán y compararán las siguientes variables: promedio de huevos por gramo de materia fecal mediante la técnica de McMaster modificada para bovinos y ovinos (Robert y O'Sullivan, 1949), proporción de géneros parasitarios presentes mediante el cultivo de larvas (Corticelli y Lai, 1963), promedio de peso corporal, y se correlacionarán con datos de precipitación mensual y temperatura promedio mensual.

Dentro de cada sistema se dividirá a los animales en dos grupos experimentales: tratados y no tratados con antiparasitarios de eficacia comprobada contra NGI. Esto se realiza con la finalidad de discernir al final del ensayo si las diferencias obtenidas en la ganancia de peso y HPG se debieron a si había o no parásitos dentro del sistema. Se intentará correlacionar el incremento en el peso vivo con el HPG con el objetivo de demostrar el posible efecto que tiene la disminución de las infestaciones parasitarias en el incremento de las ganancias de peso en los animales.

Características de los sistemas en estudio

Sistema silvopastoril

La ganadería se efectúa bajo tres tipos de SSP constituidos por:

- Pinus Taeda* como componente forestal, *Axonopus catarinensis* Valls (pasto jesuita gigante)

como componente forrajero, y novillos biotipo racial Braford y Brangus como componente animal (Foto 1).

- Eucaliptus Grandis* como componente forestal, *Brachiaria brizantha* como componente forrajero, y novillos biotipo racial Braford y Brangus como componente animal.
- Pinus Taeda* como componente forestal, *Cynodon nlemfuensis* (pasto estrella) como componente forrajero, y novillos biotipo racial Braford y Brangus como componente animal.

Son sistemas de recría de animales, donde los productores compran terneros que engordan y terminan en el campo. Al consultarles acerca del empleo de antiparasitarios, hacen referencia al uso frecuente de ivermectina 1%, doramectina y albendazol, donde la mayoría de las veces el cálculo de la dosis se realiza en base al animal más pesado de la categoría. Nunca hacen diagnóstico de HPG previo a las desparasitaciones ni tampoco pruebas para determinar la sensibilidad a las drogas antiparasitarias.

Sistema cielo abierto (CA)

La ganadería bajo cielo abierto se desarrolla sobre pastizal natural *Cynodon nlemfuensis* (pasto estrella) y pasto horqueta como componentes forrajeros, y terneros biotipo racial Braford como componente animal (Foto 6).

Descripción del ensayo

El período de estudio se extenderá por al menos 12 meses. Las tomas de muestras de materia fecal y

medición del peso corporal en balanza se realizan en Montecarlo mientras que los análisis coproparasitarios (HPG y coprocultivos) en el laboratorio del área de Parasitología del INTA de Castelar. Las muestras se toman mensualmente y en forma simultánea en ambos establecimientos.

Algunos resultados observados y conclusiones preliminares

En referencia a la distribución de los géneros de NGI en ambos sistemas, los estudios realizados permitieron identificar a los géneros *Haemonchus* y *Cooperia* como los de mayor prevalencia, con valores de 60% y 30% respectivamente, y en menor porcentaje *Oesophagostomum* 10%.

Haemonchus sp. es el género de mayor capacidad de adaptación a las condiciones geoclimáticas más adversas, relacionado a sus características reproductivas y a su gran potencial biótico (Cuellar, 2002). Se constató que la presencia de los árboles en los sistemas de pastoreo no influyó en la mayor o menor diversidad de géneros, sino que este comportamiento está determinado por las característi-

cas geoclimáticas de la región. En ambos sistemas se encontraron los géneros *Haemonchus* y *Cooperia* en porcentajes similares.

De acuerdo a Hansen y Perry (1994), los niveles de infestación hallada se encuentra entre los valores considerados como bajos, por los cuales no afectarían significativamente la producción bovina.

En el SSP se observó el desarrollo de una fauna edáfica, en especial de los coleópteros coprófagos y gusanos (Fotos 4 y 5) que tienen una participación destacada en los procesos de descomposición de la materia fecal, contribuyendo a la disminución de la contaminación e infectividad de las pasturas.

El estrato arbóreo y el herbáceo, la disponibilidad de materia seca, la altura del pasto y la composición química de la dieta, desempeñan un papel importante en el mejor comportamiento de las parasitosis en los SSP.

El uso combinado de dos métodos de control (uso racional del antiparasitario y pastoreo en SSP) contribuiría a demostrar la importancia de estos sistemas productivos en el control integrado de parásitos. Esta combinación sería mucho más eficiente en etapas críticas de la vida del animal tal como el destete.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, J. (2003). Factores que intervienen en la producción de biomasa de un sistema silvopastoril leucaena (*Leucaena leucocephala* vc Perú) y guinea (*Panicum maximum* vc Likoni). Resumen de tesis presentada en opción al grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. ICA. La Habana, Cuba. 35 p.
- Burton, G. M.; Jackson, J.E.; y Konox, F.E. (1959). The influence of light reduction upon de production, persistence and chemical composition of coastal bermudagrass (*Cynodon dactylon*). *Agronomy Journal* 51: 537-542.
- Cameron, C.; Drance, S.; Edwards, D. y Jones, D. (1994). Árboles y pasturas: Un estudio sobre los efectos del espaciamento. *Agroforestería de las Américas*, 8-9. (Traducido por Adrienne Giemenez.)
- Colcombet, L.; Pachas, N.A.; Fassola, H.; Crechi, E.; Lacorte, S.; Rossner, B. (2012). Sistema silvopastoril pino híbrido – *Axonopus/Brachiaria*: evolución de la producción maderera y forrajera. II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero, Argentina. pp. 147-152.
- Coop, R.L. & Kyriazakis, I. (2001). Influence of host nutrition on the development and consequences of nematode parasitism in ruminants. *TRENDS in Parasitology*. 17:325
- Corticelli, B. y Lai M., (1963). Ricerche sulla tecnica de coltura delle larve infestive degli strongili gastro-intestinali dal bovino. *Acta Medica Veterinaria*. Año 9. Fasc. V/VI.
- Cubbage, F.; Balmelli, G.; Bussoni, A.; Noellemeyer, E.; Pachas, A.; Fassola, H.; Colcombet, L.; Rossner, B.; Frey, G.; Stevenson, H.; Hamilton, J.; Hubbard, W. (2011). Comparing silvopastoral systems and prospects in six regions of the world. *Agroforestry: A profitable land use*. Proceedings of the 12th North American Agroforestry Conference. Atenas, Georgia, EEUU.
- Cuellar, J.A. (2002). Agentes etiológicos de la nematodiasis gastrointestinal en los diversos ecosistemas. En: Memorias 2do Curso Internacional “Epidemiología y control integrado de nematodos gastrointestinales de importancia económica en pequeños rumiantes”. (Eds. F.J. Torres & A.J. Aguilar). Yucatán, México. p. 1.
- Esquivel, J.; Fassola, H. E.; Lacorte, S. M.; Colcombet, L.; Pachas, N.; Keller, A. (2004). Sistemas Silvopastoriles: una sólida alternativa de sustentabilidad ambiental, económica y social. 11as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. 7-9/ octubre. UNaM FCF, INTA Montecarlo. Eldorado, Misiones, Argentina.
- Esquivel, J. (2012). Sistemas silvopastoriles: Una posibilidad para crecer de manera sostenible. *Revista Producción Forestal*. 3: 15-23 p.
- FAO, (2003). Resistencia a los antiparasitarios. Estado actual con énfasis en América Latina. En: Estudio FAO producción y sanidad animal 157. ISSN 1014-1200. Roma, Italia: 1-51.
- Fassola H. E, Lacorte S. M., Pachas A. N.; Goldfarb C.; Esquivel J.; Colcombet L., Crechi E. H., Keller A., Barth S. R. (2009). Los sistemas silvopastoriles en la región subtropical del NE argentino.
- Fassola, L.E.; Lacorte, S.M.; Pachas, N.; Pezzuti, R. (2005). Factores que influyen la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus* Valls, bajo dosel de *Pinus taeda* en el nordeste de Corrientes. *Edición INTA. RIA* 34(3): 21-38.
- Fernández, M. E. (2003). Influencia del componente arbóreo sobre aspectos fisiológicos determinantes de la productividad herbácea en sistemas silvopastoriles de la Patagonia Argentina. Tesis Doctoral.

- Fiel, C.A.; Pedonese, S.I.; Steffan, P.E. & González, F. (2000). Bioecología de los estadios de vida libre de nemátodos gastrointestinales de bovinos: Sobre-vivencia de larvas en las pasturas. Memorias. III Congreso Argentino de Parasitología. La Plata, Argentina. p. 444.
- Frey, G.; Fassola, H.; Pachas, N.; Colcombet, L.; Lacorte, S.; Renkow, M.; Perez, O.; Cubbage, F. (2012). Within-farm efficiency comparison of silvopastoral systems with conventional pasture and forestry in NE Argentina. Land Economics, Madison, v. 88, n. 4.
- Frey, G.E. (2009). Economic analyses of agroforestry systems on private lands in Argentina and the USA. 283 f. Dissertation (Doctor of Philosophy) - Faculty of North Carolina State University, North Carolina.
- Hansen, J. & Perry, B. (1994). The epidemiology, diagnosis and control of helminthes parasites of ruminants. ILRAD. Nairobi, Kenya.
- Harvey, Celia, (2003). La conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles. Curso Internacional sobre ganadería y medio ambiente. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 21
- Hoste, H. (2002). Importancia del óxido de cobre, plantas taníferas y taninos condensados en el control de nematodos gastrointestinales en pequeños rumiantes. En: Memorias. 2do. Curso Internacional "Epidemiología y control integrado de nematodos gastrointestinales de importancia económica en pequeños rumiantes". (Eds. F.J. Torres & A.J. Aguilar). Yucatán, México. p. 72
- Houriet, J.; Rossner, B.; Colcombet, L. (2012). Experiencia en módulos productivos silvopastoriles de un pequeño productor en Misiones. II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero, Argentina. pp. 416-421.
- Humphreys, L.R. (1991). Tropical pasture utilización. Cambridge University Press. New York. 218p.
- Kurtz, V.D. y Pavetti D.R. (2006). II Sistema foresto-ganaderos con especies de rapido crecimiento (*Pinus spp* y *Eucalyptus grandis*). XXI Jornadas Forestales De Entre Ríos Octubre.
- Lacorte, S.M. y Esquivel, J.L. (2009). Sistemas Silvopastoriles en la Mesopotamia Argentina. Reseña del conocimiento, desarrollo y grado de adopción. I Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles: Actas. 1er edición. Buenos Aires, INTA.
- Lacorte, S.M.; Fassola, L.E.; Pachas, N. Colcombet, L. (2004). Efectos de diferentes grados de sombreado con y sin fertilización fosfórica, sobre la producción de un pastizal modificado con predominio de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv en el sur de Misiones, Argentina. INTA Montecarlo, XI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. 9 p.
- Martínez, I. & Lumaret, J. P. (2006). Las prácticas agropecuarias y sus consecuencias en la entomofauna y el entorno ambiental. Folia Entomológica Mexicana. 45(1): 57-68.
- Mayer, A.E. (2017). Producción de carne y leche bovina en sistemas silvopastoriles. 1a ed. Bordenave, Buenos Aire. Ediciones INTA, 196 pp.
- Mildrey Soca, Leonel Simón, Saray Sánchez, Edelfidio Gómez, (2002). Dinámica parasitológica en bostas de bovinos bajo condiciones silvopastoriles. Agroforestería en las Américas. Vol. 9 N°33-34 pág. 38-42.
- Ojeda, P.A.; Restrepo, J.M.; Villada, D.E.; Gallego, J.C. (2003). Sistemas silvopastoriles, una opción para el manejo sustentable de la ganadería. Fundación para la investigación y desarrollo agrícola. Edición FIDAR. 54p.
- Onel López-Vigoa, Tania Sánchez-Santana, Jesús

- Manuel Iglesias-Gómez, Luis Lamela-López, Mildrey Soca-Pérez, Javier Arece-García y Milagros de la Caridad Milera-Rodríguez, (2017). Silvopastoral systems as alternative for sustainable animal production in the current context of tropical livestock production. *Pastos y Forrajes*, Vol. 40, No. 2, abril-junio, 83-95.
- Pavetti, D.R.; Benvenuti, M.A.; Kurtz, V.D. (2012). Evaluación de especies forrajeras megatérmicas bajo *Pinus taeda* L. Actas II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero, Argentina. pp. 344.
- Pavetti, D.R.; Benvenuti, M.A.; Peruchena, C.O.; Gunther, D.F.; Correa, M. y Temchuk, E. (1999). Alternativas de producción intensiva de carne bajo sistemas ganaderos y forestogaderos en Misiones. Cerro Azul: EEA Cerro Azul, 18p. (Informe de Avance N° 4).
- Pedreira, C.B, Behling, M., Wruck, F.J. y Barbosa, D.A. (2013). Integración Cultivos Ganadería-Bosque: experiencias en Mato Grosso, Brasil. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96358/1/cpamt-pedreiracea2013.pdf>
- Peri, P.L. (2012). Implementación, manejo y producción en sistemas silvopastoriles: enfoques de escalas en la aplicación del conocimiento aplicado. Actas II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero, Argentina. pp. 8-21.
- Peri, P. (1999). Efecto de la sombra sobre la producción y calidad de pasturas en sistemas silvopastoriles. En: *SAGPyA Forestal* 13: 17-27.
- Pezo, D.; e Ibrahim, M. (1998). Sistemas silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal /Proyecto Agroforestal CATIE N° 2. Turrialba, Costa Rica. 258p.
- Pezo, D.; Romero, F. y Ibrahim, M. (1992). Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. En Fernández-Baca, S. (ed). *Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano*. Santiago, Chile. FAO, Oficina Regional para la América Latina y el Caribe. Pág. 47-98.
- Quiroz, H. (2002). *Parasitología y enfermedades parasitarias de animales domésticos*. Editorial Limusa. México. 876 p.
- Roberts F., O'Sullivan P., (1949). Methods for egg count and larval cultures for strongyles infesting gastrointestinal tract of cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* 1: 99-102.
- Rossner, M.B.; Houriet, J.L.; Pavetti, D.R. (2008). Descripción de las pasturas evaluadas en sistemas silvopastoriles del Centro Sur de la Provincia de Misiones. Cerro Azul: EEA Cerro Azul. 32p. (Miscelánea N° 60).
- Samarakoon, S.P.; Wilson, J.R.; y Shetlton, H.M. (1990). Growth, morphology and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 114: 161-169.
- Sánchez, Saray; Milera, Milagros; Hernández, Marta; Crespo, G. & Simón, L. (2011). La macrofauna y su importancia en los sistemas de producción ganaderos. En: Milagros Milera, ed. *André Voisin: Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. Mantanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. p. 316-348.
- Shelton, H.M.; Humphreys, L.R. y Batello, C. (1987). Pastures in the plantations of Asia and the Pacific performance and prospect. *Tropical Grasslands*, 21(4):159-168.
- Soca, Mildrey; Simon, L. y Roque, E. (2007). Trees and gastrointestinal nematodes in young cattle: a new research approach. *Pastos y Forrajes [online]* (2007). vol. 30, suppl. 5 pp. 1-1.

- Torres-Acosta, F. (2002). Utilizando la suplementación como una estrategia para el control de las nematodosis gastrointestinales en ovinos y caprinos. Memorias. 2do. Curso Internacional "Epidemiología y control integrado de nematodos gastrointestinales de importancia económica en pequeños rumiantes". (Eds. F.J. Torres & A.J. Aguilar). Yucatán, México. p. 87.
- Wilson, J.R.; y Ludlow, M.M. (1991) The environment and potential growth of herbage under plantations. En Shelton, H.M. y W.W. Stür (eds). Forages for plantation crops. ACIAR Proceedings N° 32. Camberra, Australia. ACIAR. Pág. 10-24.
- Zelada, E.E. (1996). Tolerancia a la sombra de especies forrajeras herbáceas en la Zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 88 pág.

CAPÍTULO 3

SERVICIOS ECO-SISTÉMICOS PROVISTOS POR HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS Y EFECTO DE LAS PRÁCTICAS DE MANEJO EN CULTIVOS DE BASE AGROECOLÓGICA



Valeria S.
Faggioli¹



Sarah Symanczik²

1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Marcos Juárez,
Ruta Provincial N° 12 km 36 (2580). Provincia de Córdoba, Argentina.

2. Department of Soil Sciences, Research Institute of Organic Agriculture, Frick, Switzerland

Correo electrónico: faggioli.valeria@inta.gob.ar

Resumen

Los hongos formadores de micorrizas están ampliamente distribuidos tanto en ambientes naturales como antrópicos. Son un conjunto de especies que establecen simbiosis con la mayoría de los cultivos de importancia económica y se mantienen vivos en el suelo sólo si hay una cubierta vegetal en activo crecimiento. A cambio de fotoasimilados, las micorrizas proveen innumerables beneficios para la planta y para el funcionamiento del ecosistema. Está demostrado que contribuyen en la nutrición, sanidad y balance hídrico vegetal, y que generan una red de micelio en el suelo a través del cual las raíces se comunican entre sí y comparten información, agua y nutrientes. Esta red es una valiosa forma de conservar el carbono y nutrientes del suelo. Además, las micorrizas están implicadas en la producción de una sustancia aglutinante de las partículas del suelo que favorece la formación de agregados y disminuye el riesgo de erosión. Sin embargo, de modo desapercibido, el hombre puede atentar contra los hongos micorrícicos. En este capítulo se presenta información sobre el impacto de prácticas de manejo sobre parámetros relacionados a los hongos formadores de micorrizas. En algunos casos, con resultados obtenidos de experimentación en sistemas de producción agroecológicos de Argentina y una breve reseña basada en experiencias europeas. En la producción agroecológica, las relaciones entre sus componentes deben priorizar los beneficios que la naturaleza brinda. Entonces, esperamos acercarnos información concreta y práctica para ser tenida en cuenta al momento de diseñar estrategias que contemplen la biodiversidad.

Palabras clave: Manejo de suelo, Nutrición fosforada, Biodiversidad

Abstract

Mycorrhizal fungi are widely spread in both natural and anthropogenic environments. They consist of a group of species that establishes symbiosis with key commercial crops, and that only can survive in soil if there is a vegetative cover in active growth. In exchange for photo assimilates, mycorrhizae provide vital benefits for the plant and for the functioning of the ecosystem. It is recognised that they contribute to nutrition, health and vegetable water balance, and that they generate a network of mycelium in the soil which allows the roots communicate with each other and share information, water and nutrients. This network is a valuable way to conserve soil carbon and nutrients. In addition, mycorrhizae are involved in the production of a substance that binds soil particles favouring the formation of aggregates and diminishing risks of erosion. However, unnoticed, humans can damage mycorrhizal fungi. Here, we present information about the impact of management practices on this component of soil biota from experimentation in organic production systems located in Argentina as well as a brief review based on European experiences. In organic production, the relationships between constituents of the system should prioritize the benefits that nature provides. Therefore, the aim of this chapter is to provide actual and practical information to be taken into account when designing sustainable agronomical strategies.

Key words: Soil Management, Phosphorus nutrition, Biodiversity

1. Introducción

La asociación simbiótica entre los hongos formadores de micorrizas y las raíces de las plantas es muy común en ecosistemas naturales. Aunque hay diferentes tipos de hongos que forman esta clase de asociaciones, los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) son los más importantes para la agricultura. Constituyen un grupo de aproximadamente 320 especies pertenecientes al Subphylum Glomeromycotina (Spatafora et al., 2016). Se caracterizan por ser simbiontes obligados, es decir, que dependen de una planta para sobrevivir. Los HFMA proveen nutrientes a la planta a cambio de carbohidratos producidos durante la fotosíntesis. Se sabe que contribuyen a la nutrición de la planta, tolerancia a estrés hídrico y protección contra patógenos. Además, favorecen la retención de carbono del suelo y la atenuación de pérdidas de nutrientes tales como nitrógeno y fósforo. Son habitantes autóctonos de los suelos y su preservación es la clave para el aprovechamiento de los innumerables beneficios que proporcionan.

En este capítulo se presentará información actualizada sobre el papel de este componente de la biota del suelo en los sistemas agrícolas y el impacto de las prácticas de manejo sobre la simbiosis. Se discutirá en detalle la importancia de los HFMA en la producción agroecológica y de qué manera los agricultores pueden maximizar los beneficios de la asociación micorrízica.

Definición de micorriza. Estructuras de propagación

La palabra micorriza deriva del griego *mykes*=hongo y *rhiza*=raíz. Literalmente, se trata de

un “hongo-raíz”. La micorriza es un sistema conformado por diferentes estructuras que desempeñan funciones específicas. En un sistema radical micorrízico arbuscular hay tres componentes principales: la raíz, el micelio intra-radical y el micelio extra-radical. El micelio intra-radical está involucrado en la transferencia de nutrientes entre los simbiontes y se diferencia en: arbuscúlos intracelulares, vesículas y circunvoluciones. La formación de arbuscúlos constituye la característica diagnóstica de las micorrizas arbusculares (**Figura 1**). Son estructuras formadas por hifas muy ramificadas que se encuentran dentro de las células corticales del hospedante e incrementan la superficie de contacto entre el hongo y la planta. En dichas estructuras se produce el intercambio, es decir, los nutrientes inorgánicos fluyen hacia la planta y los fotosintatos hacia el hongo (Smith y Read, 2008). Otra de las diferenciaciones del micelio intra-radical son las vesículas, estructuras globosas llenas de lípidos que se encuentran en espacios inter o intra-celulares y su función principal es de reserva (Bonfante-Fasolo, 1988) o como propágulos (Biermann y Linderman, 1983). Se ha observado que algunas especies de HFMA incrementan la formación de vesículas en situaciones de alta oferta nutricional, mientras que en situaciones de estrés y cuando disminuye el suministro de metabolitos desde la planta hospedante, el hongo utiliza las reservas lipídicas de las vesículas (Sieverding, 1991).

El micelio extra-radical está involucrado en la búsqueda de nuevas plantas y en la exploración del suelo para la adquisición de nutrientes minerales que utilizarán tanto el hongo como la planta. Las hifas del micelio extra-radical pueden tener un crecimiento extenso (hasta 8 cm desde la raíz), son ca-

paces de conectar diferentes plantas hospedantes y establecer simbiosis micorrícica con las diversas especies de plantas con las cuales se contactan (Giovannetti et al., 2004). Otra diferenciación del micelio extra-radical (excepto *Rhizofagus intraradices*) da como resultado la formación de esporas, estructuras únicas para cada especie de HFMA que permite su identificación taxonómica. Las esporas se forman asexualmente por diferenciación de hifas del micelio y poseen una alta cantidad de lípidos lo cual les permite mantenerse viables por un período más o menos prolongado.

Los HFMA persisten en el suelo gracias a diversos tipos de propágulos, es decir, estructuras fúngicas capaces de mantenerse infectivas durante un tiempo prolongado y que tienen la capacidad de iniciar la colonización micorrícica en una planta. Los propágulos de los HFMA son las esporas, los fragmentos de raíces colonizados y los fragmentos de hifas o micelio extra-radical. Las principales fuentes de propágulos en ecosistemas naturales son los fragmentos de raíces y el micelio

extra-radical (Martins y Read, 1997). Mientras que las esporas son consideradas propágulos a largo plazo ya que tardan más tiempo en germinar y hacer contacto con las raíces que un micelio bien desarrollado (Klironomos y Hart, 2002). Es interesante destacar que no todas las especies de HFMA se propagan con cualquier estructura. Algunas son más competitivas y pueden colonizar rápidamente las raíces con las que entran en contacto a través del micelio y raíces infectadas, mientras que otras sólo son infectivas a través de la germinación de las esporas. Dichas estrategias se traducen en altas tasas de micorrización de las primeras en comparación con aquellas especies que necesitan esporas infectivas para iniciar la colonización radical. En secciones siguientes se detallarán cuáles prácticas de manejo pueden favorecer o perjudicar la conservación de especies de HFMA infectivas en el suelo para optimizar su aprovechamiento en la producción vegetal.

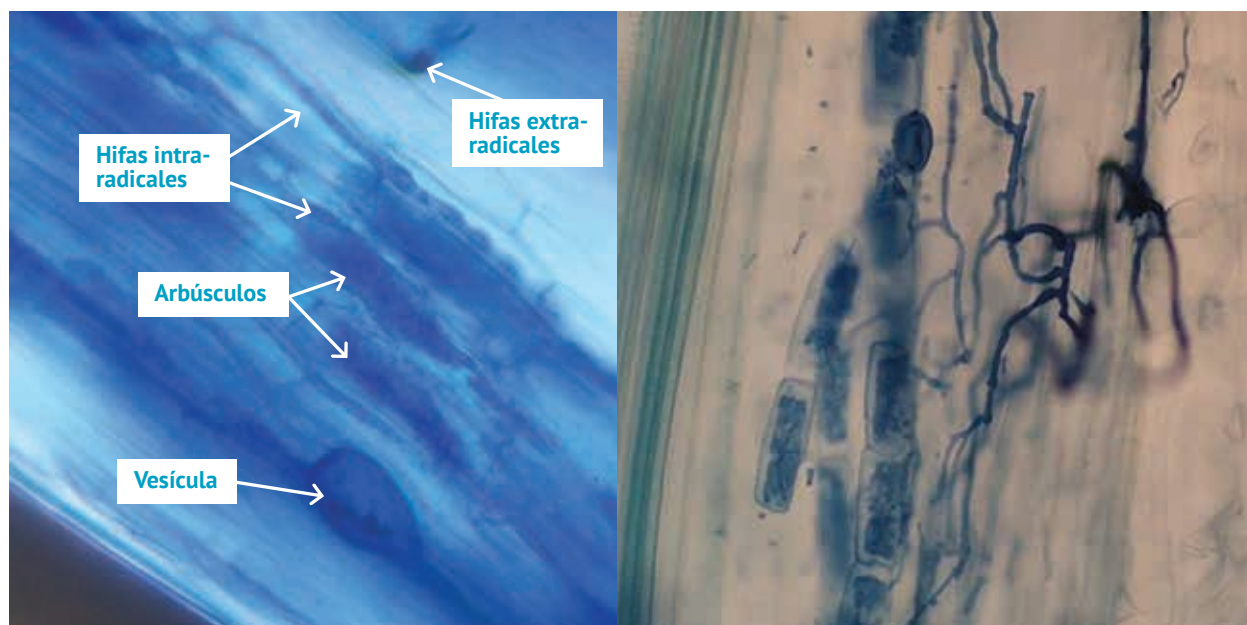


Figura 1: Estructuras micorrícicas en raíces de batata (magnificación de 10 x 40X) observadas en ensayos de largo plazo en Estación Experimental Agropecuaria San Pedro de INTA (Buenos Aires, Argentina)

Beneficios de la simbiosis micorrícica

Uno de los beneficios más estudiados de las micorizas es la mejora en la nutrición fosforada, sin embargo también se ha demostrado que pueden proteger a la planta contra patógenos e incrementar la tolerancia a sequía. Además, contribuyen a la sustentabilidad de los ecosistemas a través de mejoras en la estructura del suelo y disminución de pérdidas de nutrientes por lixiviación. En los últimos años, también se ha observado que en sistemas hortícolas y frutales mejoran ciertos parámetros de calidad del alimento producido. Los beneficios resultantes de la simbiosis micorrícica son particularmente importantes en sistemas de producción donde el aporte de insumos de síntesis química es prácticamente nulo. Al mejorar la nutrición, la sanidad y la calidad del producto a la vez que contribuye a la conservación del suelo, representan un componente clave para la producción. A continuación, se enumeran los principales beneficios de las micorizas con énfasis en sistemas agrícolas orgánicos.

1 - Nutrición de cultivos

El fósforo es el nutriente más comúnmente asociado con los beneficios provistos por la simbiosis micorrícica. Esto se debe a las diferentes formas en que el fósforo puede estar presente en el suelo lo cual determina su grado de disponibilidad para la raíz. A pesar de las bajas concentraciones en que normalmente se halla en los suelos, las plantas requieren grandes cantidades de este nutriente. El ion fosfato es fácilmente retenido por partículas coloidales, tales como la superficie de arcillas y compuestos orgánicos, que le confieren una baja disponibilidad en la solución de suelo. Esta característica determina la generación de una zona de agotamiento en las inmediaciones de la rizósfera en la medida que la planta va extrayendo el fósforo. La extensión de la red de micelio micorrícico extra-radical permite que la planta micorriza tenga acceso a un mayor volumen de suelo que va más allá de la zona de agotamiento rizosférica. Las hi-

fas extra-radicales de HFMA crecen en la matriz de suelo, absorben iones fosfato y lo transfieren a la raíz. Dicho proceso es más rápido que la difusión del ion fosfato en el suelo. Además, hay investigaciones que demuestran que las hifas secretan ciertas enzimas e interactúan sinérgicamente con microorganismos solubilizadores. Ambos mecanismos permiten que los HFMA accedan a formas de fósforo del suelo que la raíz no tiene la capacidad de absorber. Como resultado, el fósforo deja de ser un nutriente limitante y las plantas colonizadas por HFMA pueden tener un mayor crecimiento que plantas sin micorrización.

En sistemas de producción agroecológicos, el fósforo puede ser una limitante difícil de vencer. Es por ello que el manejo de los HFMA autóctonos constituye una herramienta útil para hacer más eficiente la nutrición fosforada de las plantas. En Argentina en un ensayo de larga duración en INTA San Pedro, en un suelo franco arcillo limoso y 9 mg kg^{-1} de fósforo extractable, se evaluó el impacto de diferentes cultivos antecesores sobre la micorrización y concentración foliar de fósforo en los pecíolos de plantas de batata (*Ipomea batatas* L. (Lam)) (Faggioli et al., 2017). Se evaluaron un total de 12 tratamientos: 6 antecesores (maíz blanco duro, maíz caiano, maíz azteca, sorgo forrajero talero, avena sp, *Canavalia ensiformis*), 3 asociaciones de cultivo de batata (batata más *Canavalia ensiformis*, batata más maíz blanco duro y batata más maíz caiano) y 3 situaciones adicionales (monocultivo de batata, situación de barbecho estival y batata con aplicación de biochar). Se observó una concentración de fósforo foliar (promedio $3,48 \text{ mg g}^{-1}$) dentro de un rango considerado óptimo para el cultivo de batata sin diferencias entre tratamientos (Martí, 2014). Aunque en este estudio, el suelo estaba bien provisto de fósforo, varios autores coinciden en que los requerimientos de la planta difícilmente podrían ser cubiertos por la oferta del suelo sin la simbiosis micorrícica (citado en O'Sullivan et al., 1997). Para corroborarlo, se identificaron las variables que explicaban significativamente la concentración de fósforo de los pecíolos (Faggioli

et al., 2017). Se halló que el porcentaje de micorrización (arbúsculos) fue un predictor altamente significativo del nivel de fósforo de la planta y el de mayor contribución al modelo estadístico. A modo conclusión, este trabajo permitió demostrar la importancia de las micorrizas autóctonas en la nutrición fosforada de batata en climas templados.

Aunque la contribución de las micorrizas en la nutrición fosforada es la más estudiada, cada vez hay más reportes referidos a obtención de otros nutrientes. Se han observado efectos de la simbiosis micorrícica en la nutrición con cinc, cobre, hierro, nitrógeno, potasio, calcio y magnesio (Smith y Read, 2008). Además, las micorrizas permiten incrementar la absorción de nitrógeno de la planta a partir de fuentes orgánicas. Este último mecanismo, es de gran importancia para el aprovechamiento de enmiendas nitrogenadas. En leguminosas se ha observado una mayor fijación simbiótica de nitrógeno en plantas con micorrizas que en ausencia de mi-

corrizas, especialmente en suelos de bajo contenido de fósforo. Las mejoras en nodulación y fijación de nitrógeno en plantas con micorrizas sería el resultado de vencer la deficiencia de fósforo del suelo y la absorción mediada por micorrizas de micronutrientes lo cual redundaría en una mejora general del crecimiento y desarrollo de la planta y efectos indirectos en el sistema de fijación de nitrógeno. Dicha sinergia entre planta, bacteria y micorrizas se denomina simbiosis tripartita y debe ser considerada en los sistemas de producción de leguminosas. El agregado de fósforo en estas condiciones, inhibiría la formación de micorrizas y, en consecuencia, todos los potenciales beneficios aportados por estos organismos del suelo.

2 - Biocontrol de patógenos y nematodos

La simbiosis micorrícica puede actuar en la supresión de patógenos fúngicos del suelo e in-

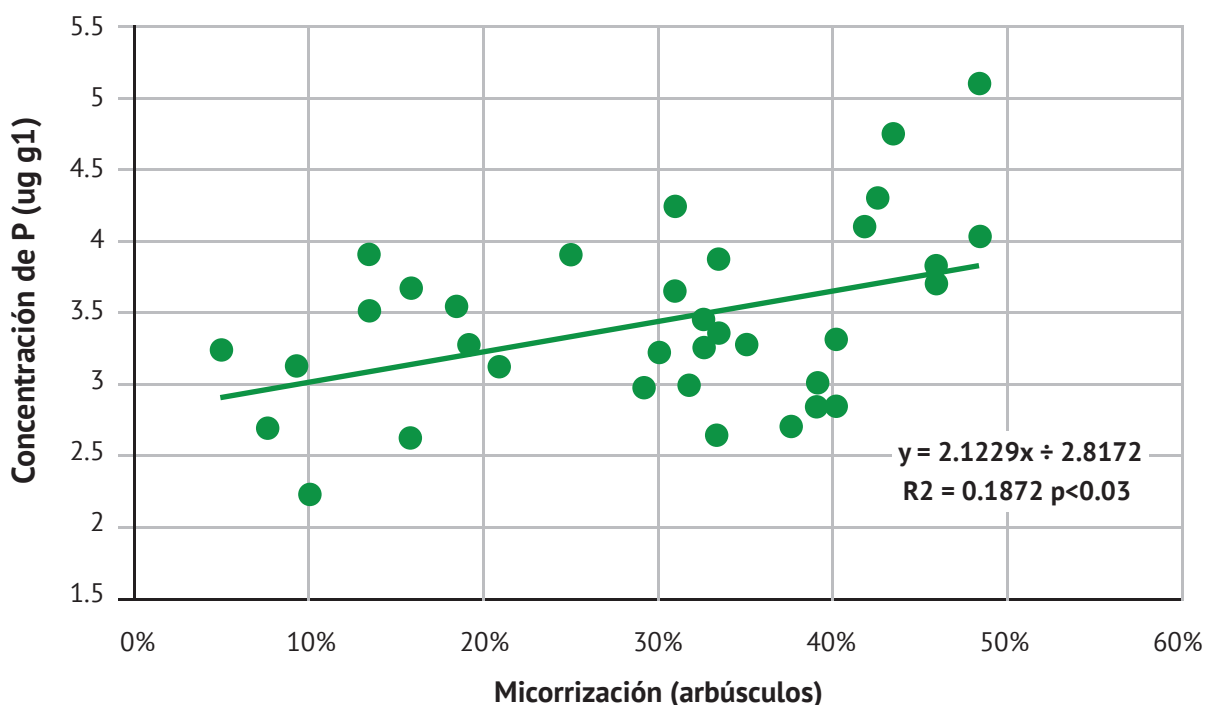


Figura 2: Relación entre el porcentaje de arbúsculos y concentración de fósforo de tejidos aéreos de batata en experimento de larga duración de INTA San Pedro (adaptado de Faggioli et al., 2017)

crementar la tolerancia al daño ocasionado por nematodos. Los principales modos de acción son cambios en la morfología de la raíz y la producción de compuestos enzimáticos que se trasladan en la planta de manera sistémica. En general se observan disminuciones en la severidad de las enfermedades, más que una total inhibición, que mejoran el rendimiento de una planta micorrizada. Por ejemplo, las micorrizas promovieron mejoras en tolerancia *Sclerotium cepivorum* en cebolla (*Allium cepa*); a *Fusarium oxysporum* en espárrago (*Asparagus officinalis*) y poroto (*Phaseolus vulgaris*); a *Verticillium dahliae* en tomate (*Lycopersicon esculentum*) y berenjena (*Solanum melongena*), etc. (Karagiannidis et al., 2002; Matsubara et al., 2000, 2002; Torres-Barragan et al., 1996).

Los nematodos son organismos de vida libre que habitan en una gran variedad de hábitats. Algunos de ellos actúan como parásitos de cultivos de importancia económica y generan severas mermas en los rendimientos. La mayoría de ellos viven en el suelo pero algunos residen en la superficie y generan daños en la parte aérea de la planta. Las micorrizas contribuyen directa e indirectamente en la atenuación de daños ocasionados por nematodos.

La competencia directa por nutrientes y espacio, la inducción de resistencia sistémica y la alteración de las interacciones rizosféricas los principales mecanismos directos en que las micorrizas protegen a la planta de los nematodos. Mientras que de manera indirecta, el mejor crecimiento de la planta por incremento de acceso a nutrientes incrementa la tolerancia de la planta al ataque de nematodos. Sumado a ello, la formación de micorrizas también puede generar alteraciones en la morfología de las raíces que favorecen la tolerancia de la planta. Para más información se sugiere leer Schouteden et al. (2015) en el que se presentan detalladamente los mecanismos mencionados anteriormente. El efecto de las micorrizas sobre el control de los daños ocasionados por nematodos fue demostrado en numerosos experimentos. Por ejemplo, Marro et al. (2018) evaluaron el efecto de *Rhizophagus irregularis* en plantas de tomate inoculadas al trasplante

con *Nacobbus aberrans*, un nematodo endoparásito formador de agallas en raíces y causante de severas pérdidas en numerosos cultivos. Observaron que la presencia del nematodo incrementó la formación de micorrizas en las raíces y que la micorriza favoreció la producción de biomasa de tomate, redujo el número de agallas y la población final de nematodos. De modo similar, en plantas de pepino (*Cucumis sativus*), las micorrizas no sólo redujeron la formación de agallas sino también el número de huevos y de hembras de *Meloidogyne incognita* (Zhang et al., 2008). Estos resultados son interesantes desde el punto de vista del manejo puesto que las micorrizas no solo mejoraron la performance de la planta sino que también contribuyeron a disminuir la cantidad de nematodos al finalizar el experimento.

3 - Relaciones hídricas

El rol de las micorrizas en la atenuación de stress hídrico que más se ha estudiado es en presencia de sequía. Se ha demostrado que las micorrizas incrementan la resistencia de las plantas a una condición de baja oferta de agua. Ante situaciones de sequía, las plantas micorrizadas tienen menores pérdidas de biomasa que plantas sin micorrizas lo cual les permite una mejor recuperación cuando se reestablece la condición hídrica. Por otra parte, es importante mencionar que el exceso de agua es un factor adverso para los HFMA ya que estos microorganismos son sensibles a una baja disponibilidad de oxígeno. En consecuencia, las esporas usualmente están ausentes en suelos inundados periódicamente (Solaiman e Hirata, 1996). En síntesis, aunque un contenido de agua dentro del rango óptimo para las plantas es ideal para el funcionamiento de la simbiosis, los HFMA pueden representar una mejora para la planta ante períodos de deficiencia hídrica. En una revisión realizada por Augé (2001) se explica detalladamente la interacción micorriza-planta ante situaciones de stress hídrico.

Estructura del suelo y reducción de pérdidas de nutrientes

Las micorrizas contribuyen al mantenimiento de la estructura del suelo gracias a la red de micelio extra-radical y a la secreción de sustancias aglutinantes del suelo. La presencia de micorrizas en la planta promueve una mayor movilización de carbono hacia las raíces y a la rizósfera. La planta puede transferir hasta un 20% de todo el carbono fijado a la micorriza (Jakobsen y Rosendahl, 1990) y en suelos agrícolas los HFMA pueden producir una cantidad significativa de biomasa (Rillig et al., 1999). En condiciones experimentales, Olsson et al (1999) encontraron que los HFMA produjeron hasta un 50% del total de biomasa microbiana de un suelo arenoso. Además, se ha demostrado que el micelio de los HFMA produce una glicoproteína denominada glomalina que es un agente estructurante del suelo. De acuerdo a lo citado anteriormente, los HFMA constituyen organismos claves en la acumulación de carbono del suelo y en la formación de agregados. Sin embargo, cabe mencionar los hallazgos de Allen (1992). Ellos observaron que a mayor abundancia de cierta especie de micorrizas (*Gigaspora* spp) con respecto a otra (*Glomus* spp) se producían aumentos significativos en la longitud del micelio extra-radical y en la formación de macroagregados. Esto significa, que el aporte de las micorrizas a la conservación del suelo depende del mantenimiento de la diversidad de especies.

En los últimos años ha habido creciente interés en el rol de las micorrizas en la reducción de pérdida de nutrientes. Las micorrizas al aumentar la eficiencia de absorción de nutrientes, reducen el riesgo de pérdidas por lixiviación o denitrificación. En efecto, se ha medido que las micorrizas pueden reducir por lixiviación de N (hasta 70 kg N ha⁻¹ año⁻¹) y P (hasta 150 g P ha⁻¹ año⁻¹). También se ha observado que las micorrizas pueden reducir pérdidas por lixiviación tanto de nutrientes orgánicos como inorgánicos (van der Heijden, 2010). Los HFMA recientemente han demostrado reducir las emisiones de óxido nitroso del suelo, un potente gas de efec-

to invernadero (Bender et al., 2015). Este hecho sería producto de la alteración en la comunidad bacteriana que inducen los HFMA, principalmente en los denitrificantes.

4 - Calidad de frutas y verduras para consumo humano

Cada vez es más importante la demanda de calidad en la producción de frutas y hortalizas. El uso de micorrizas en la horticultura podría representar un “seguro” contra el deterioro de calidad (Schnitzler y Gruda, 2003). Numerosos estudios confirman el efecto positivo de las micorrizas no solo en el crecimiento de la planta, sino que también en su calidad. Así, por ejemplo, mejoras en la calidad de lechuga, tomate, pimienta y frutillas fueron observadas en plantas con micorrizas (citas en Baum et al., 2015). Algunos de los mecanismos responsables de la mejora en la calidad son la acumulación de metabolitos secundarios, vitaminas, minerales, compuestos antioxidantes y ácido ascórbico. En batata se han observado incrementos del contenido de betacarotenos en los tubérculos luego de la inoculación con micorrizas (Tong et al., 2013). Además de los efectos directos sobre la composición química de las plantas, los HFMA también pueden contribuir indirectamente en la calidad vegetal al reducir la necesidad de aplicación de pesticidas. Por otra parte, la inoculación con HFMA generó frutos de tomate mayor tamaño y calidad comercial superior (Schinitzler y Michalsky, 1996). Ortas et al. (2013) obtuvieron una floración 5-10 días anticipada en plantas de tomate, lo cual es muy favorable ya que permite la comercialización temprana del producto pudiendo obtener un mejor precio. Las plantas de cebolla también responden muy positivamente a la inoculación micorrizas. Se observó un diámetro más uniforme y menores pérdidas de sólidos solubles y de peso durante un almacenamiento de 120 días (Makus, 2004).

Prácticas de manejo y micorrizas

Los HFMA se mantienen en el sistema a través del uso de prácticas de manejo adecuadas y/o el agregado de inóculo. La producción de alimento en base a la agricultura, implica una serie de prácticas que pueden impactar en los HFMA, destruyéndolos o bien generando condiciones desfavorables en el suelo. En esta sección se presentará de qué manera las principales prácticas de manejo empleadas en agricultura, impactan sobre las comunidades de HFMA que residen en el suelo.

1 - Fertilización

El fósforo es un elemento que puede limitar en gran medida la relación entre las plantas y los HFMA. Se ha demostrado que en suelos con mayor contenido de fósforo, las plantas tienen bajos niveles de micorrización y de esporas. Sin embargo, también hay casos de altos valores de formación de micorrizas en suelos con buena provisión de fósforo. En tal escenario sería interesante conocer la estructura de las comunidades de HFMA presentes, es decir, qué especies hay presentes. Johnson (1993) postula que el excesivo agregado de nutrientes puede seleccionar especies de micorrizas que son inferiores en términos de la provisión de beneficios a la planta.

El agregado de nitrógeno también perjudica a las micorrizas tanto en los niveles de micorrización como en la reducción de las especies y/o diversidad. Fuentes orgánicas de nutrientes, tales como abono de granja, compost y residuos de cultivos, y fertilizantes minerales de liberación lenta como roca fosfórica no han demostrado suprimir a los HFMA e incluso, pueden estimularlos (Smith y Read, 2008). Sin embargo, un uso indiscriminado de enmiendas orgánicas, especialmente aquellas ricas en fósforo como la cama de pollo, puede impactar negativamente en los HFMA.

Teniendo en cuenta el efecto inhibitorio que posee el agregado de nutrientes sobre los HFMA, se sugiere optimizar el uso de recursos diagramando

un esquema de enmiendas y fertilización acorde a las necesidades de los cultivos. De este modo, se minimizan las potenciales pérdidas de nutrientes que traen consecuencias ambientales tales como la contaminación del aire y del agua, y, al mismo tiempo, se favorece la formación de micorrizas y el aprovechamiento de todos los beneficios de la simbiosis.

2 - Uso de pesticidas

Los pesticidas, particularmente los fungicidas, pueden tener un impacto negativo difícil de remediar si se acumula en el tiempo. Aunque en sistemas de producción agroecológicos el uso de biocidas de síntesis química no está aconsejado, hay estudios realizados sobre compuestos de origen biológico que merecen su atención. En sistemas agroecológicos, el control de enfermedades y plagas se realiza en base a extractos vegetales y bacterianos de los cuales se infiere que poseen un bajo impacto ambiental por su origen biológico. Sin embargo, es importante señalar que al aplicar un producto con el objetivo de eliminar o controlar organismos perjudiciales, existe una alta probabilidad de afectar a organismos no blanco como los HFMA. Esto sucede tanto con productos pesticidas comerciales como con los biológicos. Por ejemplo, Wan et al. (1998) compararon dosis de diferentes pesticidas y solventes para evaluar el efecto nocivo sobre micorrizas y observaron que la toxicidad de mayor a menor fue acetona, metanol, AMPA, dimetoato, sulfato de cobre, glifosato y benomil. Según estos resultados, el principal componente del caldo bordelés (sulfato de cobre) es un agente potencialmente perjudicial para los HFMA. Por otra parte, Ipsilantis et al. (2012) evaluaron el impacto de pesticidas biológicos sobre la formación de micorrizas y la diversidad de especies de HFMA dentro de las raíces posterior a la aplicación del pesticida. En su estudio evaluaron extracto de árbol neem (*Azadirachta indica* Juss), un reconocido insecticida y nematocida, aunque también hay antecedentes de su actividad fungicida (Akça et al., 2005). Otros productos

evaluados en la investigación eran de propiedades insecticidas pero de diferente origen: un extracto bacteriano llamado Spinosad; un extracto de flores de crisantemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*); y terpenos. Observaron que Spinosad, crisantemo y terpenos no afectaron ni la formación de micorrizas ni la estructura de las comunidades de HFMA. El extracto de árbol de neem tampoco disminuyó la micorrización, pero generó una inhibición selectiva de ciertas especies de HFMA. Además, el extracto de neem generó una disminución en la diversidad de HFMA del suelo más persistente que el carbendazim, utilizado como testigo en el experimento. Puede inferirse, entonces, que a pesar de la gran ventaja ecológica que representa el uso de productos biológicos para el control de plagas y enfermedades, su utilización debe ser medida y en el contexto de un manejo integral puesto que su efecto puede ser negativo para un amplio espectro de organismos tales como los HFMA.

3 - Laboreo del suelo

El contacto de la red de micelio de HFMA con las raíces es la principal vía de formación de las micorrizas. Las tareas de remoción del suelo causan una severa disrupción de la red de micelio, esto ocasiona una demora en el inicio de la micorrización y una reducción de los niveles de colonización micorrízica. En consecuencia, se reducen los beneficios provistos por la simbiosis, principalmente la obtención de nutrientes poco móviles ya que la destrucción de la red de micelio produce una disminución del volumen de suelo explorado. Faggioli et al. (2008) observaron que la labranza fue más importante que la fertilización en la disminución de la micorrización de plantas de maíz, principalmente durante la implantación del cultivo. Por otra parte, se ha demostrado que las labranzas generan cambios en las condiciones físicas y químicas del suelo que afectan más a ciertas especies de HFMA que a otras (Oehl et al., 2010). En general, predominan pocas especies pero son muy abundantes, ya sea por su capacidad de sobrevivir en raíces infect-

adas y/o producir una alta cantidad de esporas. Por lo tanto, se ve afectada la composición de la comunidad residente de HFMA con una disminución de la diversidad.

Las prácticas de labranza reducida y de labranza cero tienen un menor efecto sobre los HFMA que las labranzas convencionales. Se ha demostrado en experimentos comparativos que un suelo cultivado con maíz con las tres modalidades de labranzas mencionadas, tiene un mayor nivel de micorrización en la labranza cero. Además, en tal condición, se ha medido una mayor longitud del micelio extra-radical que comunica a las plantas entre sí. Kabir et al. (1998) incluso encontró una mayor acumulación de fósforo, zinc y cobre en las plantas de maíz que crecieron en siembra directa comparadas con labranza convencional y reducida. Sin embargo, este efecto depende de la especie de cultivo, por ejemplo, el trigo no ha demostrado respuesta a las prácticas de manejo en lo que respecta a la formación de micorrizas ni a sus beneficios.

En un sistema de producción agroecológico, ante la imposibilidad actual de reducir drásticamente las labranzas, se sugiere realizar “descansos” en el suelo, ya sea a través de barbechos verdes o cultivos de cobertura con plantas formadoras de micorrizas. De este modo, se logrará mantener o incrementar el banco de estructuras de HFMA que podrían iniciar micorrizas en el cultivo siguiente.

4 - Rotación de cultivos, inter-siembras y manejo de malezas

La rotación de cultivos es una de las prácticas agronómicas más antiguas que aún se realiza por sus reconocidos beneficios en el mantenimiento y mejoras de la fertilidad del suelo. Sin embargo, no todos los cultivos establecen simbiosis micorrízica. Por ejemplo, los miembros de las familias *Brassicaceae* y *Chenopodiaceae* no forman micorrizas (o lo hacen en niveles mínimos por un breve lapso de tiempo). El cultivo de especies de dichas familias genera disminuciones en el banco de propágulos de HFMA. Lo contrario sucede con plantas forma-

doras de micorrizas, es decir, promueven una mayor densidad de esporas y redes de hifas capaces de iniciar la simbiosis en cultivos siguientes.

En plantas de batata, por ejemplo, Faggioli et al. (2017) observaron que el porcentaje de micorrización de batata era de 14% en raíces que provenían de un barbecho desnudo y 44% en plantas luego de un cultivo de cobertura. Arihara y Karasawa (2000) compararon la micorrización de maíz sembrado luego de cultivos formadores (soja, maíz) y no formadores de micorrizas (canola y remolacha azucarera). Hallaron que el peso aéreo y rendimiento de granos de maíz fue mayor cuando provenía de soja y maíz. Concluyen que la siembra de cultivos no formadores de micorrizas reducen el banco de propágulos del suelo y la subsiguiente micorrización, absorción de fósforo y producción de biomasa. Esta reducción también es generada por períodos de barbecho sin cultivos porque el hongo no cuenta con la provisión de fotoasimilados necesaria para su supervivencia. Por lo tanto, puede inferirse que la presencia de cultivos es siempre preferible para mantener la viabilidad de los propágulos. Además, Kabir y Koide (2000) afirman que las mezclas de plantas en las coberturas incrementa la micorrización del cultivo siguiente en mayor medida que un cultivo mono-específico.

La inter-siembra es definida como la siembra de dos o más especies que se cultivan en la misma superficie y comparten el uso de recursos durante la totalidad o en parte de su ciclo de cultivo. Esta herramienta permite maximizar las interacciones positivas entre plantas a través de las hifas micorrícicas extra-radicales. Las redes de micelio conectan las raíces de una planta con otras, independientemente de la especie. Una de las asociaciones más empleada en la inter-siembra de cereales y leguminosas. La transferencia directa de nitrógeno de soja a maíz a través de hifas de HFMA fue observada por primera vez por Kessel et al. (1985) y entre trébol y maíz por Frey y Schüepp (1992). También se ha demostrado que el traspaso de nutrientes es bidireccional y que la planta no fijadora de nitrógeno aporta recursos necesarios para las fijadoras (He et

al., 2003). Además, en condiciones de estrés hídrico, la red de micelio micorrícico favorece la redistribución de agua entre plantas vecinas conectadas a través de la red de micelio. Saharan et al. (2018), en una inter-siembra con cereales y leguminosas hallaron que ante deficiencia hídrica las gramíneas, de raíces más superficiales, sufrieron menos el impacto de la sequía cuando crecían junto a leguminosas. En su experimento, las raíces de la leguminosa, al ser más profundas, accedían a la humedad sub-superficial y el agua absorbida era redistribuida por la red de micelio. En ausencia de micorrizas, en cambio, las gramíneas manifestaron una drástica reducción del crecimiento debido a las limitantes hídricas. En este mismo trabajo, los autores hallaron nitrógeno y fósforo al que sólo podían acceder las hifas pero no las raíces.

Los HFMA colonizan las raíces no sólo de los cultivos de importancia económica, sino también de las malezas. La red de micelio micorrícico que conecta a plantas vecinas puede ser muy favorable tanto para las malezas como para los cultivos puesto que permite una distribución homogénea de los

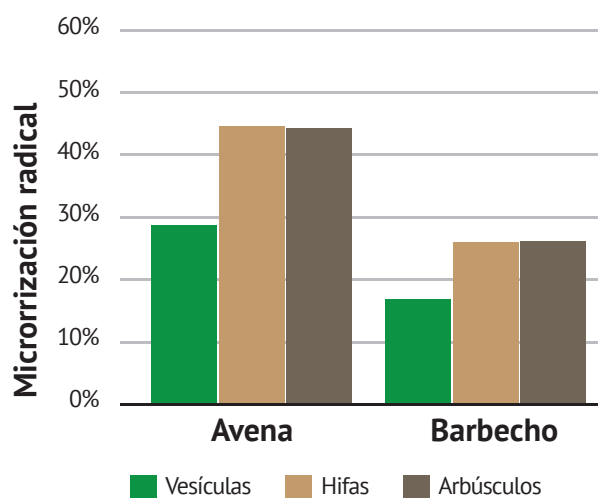


Figura 3: Estructuras micorrícicas en raíces de batata con antecesor avena (*Avena sativa* L.) o barbecho en un ensayo de larga duración de INTA San Pedro (adaptado de Faggioli et al., 2017)

recursos. En un manejo agroecológico, las funciones del ecosistema deben aprovecharse en su conjunto. En este sentido, las malezas pueden ser una buena manera de captar nutrientes del suelo a través de las micorrizas. Después, al realizar el secado de la maleza en el momento adecuado, el cultivo podrá utilizar los nutrientes que se movilizarán a través del micelio micorrícico y se liberará de los tejidos de la planta. Además, la co-existencia de plantas de distintas especies fomenta la diversidad de HFMA, indispensable para aprovechar las múltiples funciones que aportan.

En síntesis, un adecuado manejo de las rotaciones debe contemplar la mayor diversidad posible de cultivos, la realización de intersembras, la reducción de tiempos con el suelo desprovisto de plantas y el conocimiento de la importancia biológica de las malezas que conviven con los cultivos.

5 - Comparación entre sistemas de producción orgánicos y convencionales.

Breve reseña Europea.

Recientemente, se realizó un estudio comparando tres plantaciones de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) con diferentes prácticas de manejo en la región andina tropical de Ecuador (Symanczik et al., 2017). La comparación incluyó una plantación convencional, una orgánica y una permacultura convertidas desde uno, 1,5 y ocho años desde el bosque natural, respectivamente. El estudio de la diversidad de HFMA se realizó mediante extracción de ADN y secuenciación de las micorrizas presentes en las raíces de naranjilla. Los autores observaron una reducción de la micorrización radical, abundancia y diversidad de HFMA en el sistema convencional en comparación con el sistema orgánico y de permacultura. Estas observaciones pusieron en evidencia el drástico e inmediato efecto que tienen las prácticas de manejo, considerando el corto período después de la conversión del ecosistema natural.

Se han obtenido nuevas pruebas del efecto beneficioso de la agricultura orgánica en las comunidades de HFMA en el contexto de la agricul-

tura europea. Gosling et al. (2010) detectaron una mayor abundancia de esporas de HFMA y mayores tasas de micorrización en suelos orgánicos en comparación con suelo convencional con resultados consistentes en once diferentes sitios arables (a base de cereales), arables/hortícolas y hortícolas de Inglaterra. Del mismo modo, Manoharan et al. (2017) observaron los suelos de los sistemas agrícolas convencionales de Suecia para albergar a las comunidades de HFMA y observaron que los sistemas orgánicos poseen una mayor capacidad para mantener la diversidad. El ensayo suizo de comparación de sistemas agrícolas a largo plazo "DOK" (biodinámico, bio-orgánico y "Konventionell") proporciona más evidencia del impacto beneficioso de la agricultura orgánica en las comunidades de HFMA, como lo destacan Oehl et al. (2004). Los autores detectaron un mayor número de esporas y una mayor diversidad de HFMA en suelos orgánicos que convencionales. Observaron que las especies de la familia *Glomeraceae* están igualmente presentes en todas las condiciones bajo estudio, mientras que las familias *Acaulosporaceae* y *Scutellosporaceae* están presentes de forma más exclusiva en los sistemas orgánicos. También Bedini et al. (2013) que estudiaron la diversidad y la actividad de HFMA en un ensayo de comparación de sistemas de cultivo a largo plazo en Italia. Encontraron diferencias entre la riqueza de especies de HFMA y la composición entre sistemas de producción orgánica y convencional. Observaron que estas diferencias se tradujeron en una mayor actividad de las comunidades de HFMA en campos gestionados orgánicamente según el potencial de inóculo micorrizal, la capacidad de colonización de la raíz y el contenido de proteína del suelo relacionado con glomalina y encontraron una correlación positiva con el tiempo desde la transición a la agricultura orgánica. Del mismo modo, también Verbruggen et al. (2010) detectaron una correlación positiva entre la riqueza de HFMA y el tiempo transcurrido desde la conversión a la agricultura orgánica. Descubrieron que las comunidades de HFMA en suelo de producción orgánica son más similares a las de los

pastizales naturales que a las que están bajo cultivo convencional.

6 - ¿Inoculación con micorrizas?

La práctica de inoculación puede ser una manera efectiva de incrementar los niveles de HFMA en el suelo y, en consecuencia, optimizar el aprovechamiento de los beneficios de la simbiosis. No obstante, existen una serie de factores a considerar antes de realizarla. En primer lugar, al optar por la inoculación, existe una suposición implícita de que los sistemas están limitados en micorrizas. Es decir, se infiere que las micorrizas son limitantes. Sin embargo, en la mayoría de los casos, es prácticamente imposible realizar un diagnóstico y determinar la veracidad del supuesto. Las dos maneras en que las micorrizas pueden ser restrictivas en la producción son por baja abundancia y/o diversidad.

Como se mencionó anteriormente, prácticas tales como la labranza, períodos de barbecho con suelo desnudo, exceso de fertilización y de riego, siembra de plantas no formadoras de micorrizas y uso de biocidas son perjudiciales para los HFMA y pueden disminuir drásticamente su abundancia. Una baja abundancia es directamente proporcional a mermas en la micorrización de los cultivos lo cual puede redundar en un nivel sub-óptimo de crecimiento de las plantas, especialmente en ambientes pobres en nutrientes. En tales circunstancias, la inoculación aparece como la mejor alternativa para elevar los niveles de HFMA en el suelo e incrementar la micorrización.

La pérdida de diversidad de HFMA está íntimamente vinculada a la pérdida de diversidad de funciones micorrícicas. Es decir, mientras más variada sea la comunidad, mayor será el abanico de beneficios para los cultivos puesto que existe una correlación entre la diversidad genética y funcional. En este sentido, uno de los ejemplos más citados es el experimento de Maherali y Klironomos (2007). En su trabajo, los autores evaluaron qué pasaba con la planta si crecía en un medio más o menos diverso de especies de HFMA en cuanto a la nutrición

fosforada y a la protección contra patógenos. Los resultados demostraron que una planta desarrollada en un medio con dominancia de *Glomeraceae* era menos invadida por hongos patógenos pero no mejoraba su nutrición fosforada con respecto a un control sin micorrizas. En cambio, cuando la planta crecía en un medio rico en *Gigasporaceae*, sucedía lo contrario, es decir, se mejoraba la nutrición fosforada aunque sin protección significativa contra patógenos del suelo. Tal resultado se atribuye a las diferencias en el patrón de crecimiento de ambas familias de HFMA. Mientras que *Glomeraceae* invade rápidamente las raíces e impide el acceso de otros hongos, *Gigasporaceae* prioriza la formación de micelio extra-radical e incrementa el volumen de suelo explorado por la raíz. En general, *Glomeraceae* predomina en los sistemas antrópicos gracias a su adaptación a las prácticas agronómicas. La inoculación con HFMA de diferentes especies podría atenuar este tipo de limitantes.

Existen diferentes estrategias para inoculación con HFMA las cuales están muy relacionadas al sistema de producción en el que se aplican. En frutales y pasturas suelen emplearse mezclas de suelo con propágulos (esporas, hifas, raíces micorrizadas). En este caso, los volúmenes de aplicación oscilan entre 7-17 tn ha⁻¹, según su carga infectiva (Verbruggen et al., 2013). La producción de plantines permite colocar el inóculo en el sustrato desde que la semilla germina. De este modo, el sistema radicular es colonizado por el hongo micorrícico desde inicios del crecimiento y el plantín es trasplantado con sus micorrizas. Este método de aplicación es muy utilizado y muy efectivo. Por ejemplo, Douds et al. (2017) realizaron inoculación de plántulas de berenjenas (*Solanum melongena* L.) con un inóculo producido en el mismo establecimiento de producción y describen detalladamente la forma de producir el sustrato micorrícico. En la investigación obtuvieron mejoras del 11% del rendimiento con un cambio mínimo en las prácticas de rutina del productor. Cabe aclarar que también se pueden utilizar formulados comerciales líquidos o sólidos. Por ejemplo, en papa (*Solanum tuberosum* L.), la

aplicación se realiza directamente sobre el fragmento de papa semilla al momento de la siembra y algunos productos comerciales han dado resultados favorables. Por ejemplo, Hijri (2016) realizó un relevamiento durante 4 campañas en un total de 231 sitios para cuantificar la respuesta del cultivo a la inoculación con HFMA en Europa y Norteamérica. Se empleó una suspensión líquida comercial, elaborada con *Rhizophagus irregularis*, aplicada sobre la semilla durante la siembra. Se registró una mejora de 3.9 tn ha⁻¹ (9.5%) en el rendimiento con una respuesta económicamente favorable en el 79% de los sitios. En Ecuador, Loján et al. (2016) evaluaron diferentes formulaciones comerciales, incluida la misma del estudio anterior, en cultivos de papa. No hallaron efectos de la inoculación sobre el rendimiento ni cambios en la composición de las comunidades de HFMA asociadas a la raíz, en comparación con el testigo sin inocular. Los resultados de ambas investigaciones ponen de manifiesto la importancia del ambiente en la respuesta a la inoculación. Muchas causas pueden explicar la falta de respuesta a la inoculación, tales como la técnica de aplicación del producto, las prácticas de manejo, condiciones bióticas y abióticas y la competencia con las especies nativas de HFMA. En general, suelos con mayor densidad de inóculo nativo es menos probable que presente respuesta al agregado de inóculo (Niwa et al., 2018). Es por ello que el suelo en sí mismo puede ser considerado una fuente de micorrizas natural mediante el empleo de prácticas de manejo adecuadas.

Ahora bien, ¿qué factores deberían tenerse para una inoculación con micorrizas? Verbruggen et al. (2013) cuestiona cuán compatibles son las cepas de micorrizas agregadas mediante inoculación con las especies nativas de HFMA. Se sabe que los suelos agrícolas están sometidos a una intensa presión de selección debido a las prácticas de manejo. En consecuencia, sólo unas pocas especies de HFMA son exitosas y se adaptan a tales ambientes. Entonces, ¿Cómo comprobamos que la cepa aplicada es la que interactúa con la planta? Y ¿Cómo sabemos si persiste en el suelo? El establecimiento de una nueva especie puede ser muy difícil si ésta debe

competir con las especies existentes, adaptadas y predominantes. En un trabajo reciente con cultivo de soja, Niwa et al. (2018) estudiaron la dinámica en suelo y raíz de especies de HFMA introducidas y nativas. Encontraron que la abundancia en raíz de la cepa introducida fue la variable que más explicó el rendimiento de soja. Es decir, la cepa no sólo fue competitiva frente a las nativas en cuanto a la ocupación de la raíz, sino que también fue eficiente en la provisión de beneficios a la planta. En cambio, Berruti et al. (2017) concluyeron que la cepa con la que inocularon maíz ni colonizó las raíces ni persistió en el suelo. Sin embargo, mediante la inoculación se mejoraron los índices de diversidad de la comunidad de HFMA autóctonos. Podríamos inferir, entonces, que la inoculación no garantiza que la cepa introducida sea capaz de colonizar la raíz, persistir en el suelo o mejorar algún parámetro de la planta. No obstante, tienen el potencial de incidir sobre la estructura de la comunidad autóctona de HFMA del suelo. En una interesante y completa revisión, Hart et al. (2018) plantean algunas consecuencias indeseables producto de la inoculación. Sostienen que algunas especies de HFMA pueden ser muy invasivas y multiplicarse en el suelo afectando de manera negativa la diversidad de la comunidad residente. Este hecho supone un perjuicio ambiental muy serio en cuanto a la conservación de la biodiversidad autóctona. Es por ello, que destacan la importancia del uso de inóculo local y de optar por prácticas de manejo que mantengan la infectividad micorrícica del suelo.

Todavía queda mucho por aprender acerca de la biología y ecología de los HFMA antes de promover el uso de inoculantes. Hasta que se logre un avance en el conocimiento, Hart et al. (2018) proponen tener especial consideración a las condiciones que garanticen el éxito de la inoculación:

- Horticultura: en sistemas cerrados, con uso de sustrato artificial o hidroponía se pueden beneficiar del inóculo de HFMA ya que la mayoría de los cultivos hortícolas son altamente micorrícicos. Además, el uso de inoculantes en los invernaderos disminuye el riesgo de diseminación ambiental de

las cepas aplicadas. Por otra parte, en sistemas de trasplante a campo, Hart et al. (2018) sugieren que debería preferirse el inóculo natural provisto por el suelo que el uso de un producto comercial.

· Suelos severamente degradados: en situaciones de alta degradación, la restitución de la comunidad de HFMA deberá basarse en el empleo de plantas formadoras de micorrizas pero siempre priorizando el uso de inóculo natural, autóctono, en lugar de la intromisión de cepas de origen desconocido y/o foráneas.

Consideraciones finales

Esperamos que después leer esta breve reseña sobre las micorrizas, su rol clave en el mantenimiento del ecosistema haya sido comprendido y que haya despertado el interés y la curiosidad por conocer

más sobre ellas. Los beneficios provistos por este grupo de hongos han sido ampliamente demostrados en una gran variedad de ambientes productivos y naturales. Es por ello que, aunque no sean medibles en el corto plazo, las contribuciones de las micorrizas en el ecosistema a lo largo del tiempo garantizan la sustentabilidad de sistemas antrópicos. En la Tabla 1 se presenta una síntesis de lo detallado en este capítulo en cuanto al impacto de las prácticas de manejo sobre los HFMA. Aún queda mucho por aprender, principalmente en los ambientes agroecológicos de Latino América, los cuales, a diferencia del primer mundo, cuentan con una rica biodiversidad a la cual preservar. En este sentido, quisiéramos hacer énfasis en que la inoculación no siempre es el mejor remedio ya que puede alterar de manera indeseada a las comunidades autóctonas de HFMA que residen en nuestro suelo.

Tabla 1: Prácticas de manejo en sistemas de producción orgánica y su efecto en la simbiosis micorrízica (adaptado y modificado de Gosling et al., 2006)

Práctica	Efecto
Prácticas favorables	
Uso de fertilizantes de baja solubilidad	La baja concentración de nutrientes disponibles en el suelo estimula la colonización micorrízica.
No uso de biocidas	Se descartan los efectos tóxicos de biocidas sobre los HFMA.
Diversidad de cultivos (rotaciones, inter-siembras, coberturas, coexistencia de malezas)	Promueve el incremento de inóculo y de la diversidad de las comunidades HFMA.
Inoculación	Incremento de propágulos infectivos
Prácticas perjudiciales	
Control mecánico de malezas y laboreo del suelo	Destrucción de la red de micelio micorrízico.
Barbechos desnudos/siembra de cultivos no micorrízicos	La ausencia de plantas hospederas de micorrizas resulta en una disminución del número de propágulos del suelo.
Uso de fungicidas de cobre	Efecto tóxico directo sobre los HFMA.
Riego excesivo	Anoxia derivada de la baja aireación edáfica.
Inoculación	Alteración en la composición de las comunidades de HFMA autóctonos.

Conclusiones

Las especies de HFMA han demostrado ser funcionalmente distintas y mientras algunas protegen contra enfermedades, otras son más eficientes en la adquisición de nutrientes de baja movilidad del suelo. En conjunto proveen una serie de servicios ecosistémicos insustituibles, tales como la preservación de la estructura del suelo y la reserva de carbono y nutrientes.

Está en nuestras manos la decisión de adoptar prácticas sustentables para promover el establecimiento de la simbiosis.

Bibliografía

- Akça, İ., Yılmaz, N.D.K., Kizilkaya, R., 2005. Effects of Azadirachtin on *Beet Soilborne Pomovirus* and Soil Biological Properties on Sugar Beet. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 40, 285–296. doi:10.1081/PFC-200045552
- Allen, M.F., 1992. Mycorrhizal functioning : an integrative plant-fungal process. Chapman & Hall.
- Arihara, J., Karasawa, T., 2000. Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of succeeding maize. *Soil Science and Plant Nutrition* 46, 43–51. doi:10.1080/00380768.2000.10408760
- Augé, R.M., 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11, 3–42. doi:10.1007/s005720100097
- Baum, C., El-Tohamy, W., Gruda, N., 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Scientia Horticulturae* 187, 131–141. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002
- Bedini, S., Avio, L., Sbrana, C., Turrini, A., Migliorini, P., Vazzana, C., Giovannetti, M., 2013. Mycorrhizal activity and diversity in a long-term organic Mediterranean agroecosystem. *Biology and Fertility of Soils* 49, 781–790. doi:10.1007/s00374-012-0770-6
- Bender, S.F., Conen, F., Van der Heijden, M.G.A., 2015. Mycorrhizal effects on nutrient cycling, nutrient leaching and N₂O production in experimental grassland. *Soil Biology and Biochemistry* 80, 283–292.
- Berruti, A., Lumini, E., Bianciotto, V., 2017. AMF components from a microbial inoculum fail to colonize roots and lack soil persistence in an arable maize field. *Symbiosis* 72, 73–80. doi:10.1007/s13199-016-0442-7
- Bierman, B., Linderman, R.G., 1983. Use of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Roots, Intraradical Vesicles and Extraradical Vesicles As Inoculum. *New Phytologist* 95, 97–105. doi:10.1111/j.1469-8137.1983.tb03472.x
- Bonfante-Fasolo, P., 1988. The role of the cell wall as a signal in mycorrhizal associations, in: *Cell to Cell Signals in Plant, Animal and Microbial Symbiosis*. Springer, pp. 219–235.
- Douds, D.D., Carr, E., Shenk, J.E., Ganser, S., 2017. Positive yield response of eggplant (*Solanum melongena* L.) to inoculation with AM fungi produced on-farm. *Scientia Horticulturae* 224, 48–52. doi:10.1016/J.SCIENTA.2017.05.017
- Faggioli, V.S., Freitas, G., Galarza, C., 2008. Micorización natural en maíz y su relación con la absorción de fósforo del suelo en diferentes sistemas de labranza y fertilización. *Actas XXI Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo*. San Luis.
- Faggioli, V.S., Ullé, J., Martí, H., Ortíz, J., 2017. Mycorrhizae contribute to sweet potato phosphorus

- nutrition even in P well-supplied soils. VI Congreso Latinoamericano de Agroecología- SOCLA-10 - 15 Septiembre, Brasilia, Brasil.
- Frey, B., Schuepp, H., 1992. Transfer of symbiotically fixed nitrogen from berseem (*Trifolium alexandrinum* L.) to maize via vesicular-arbuscular mycorrhizal hyphae. *New Phytologist* 122, 447–454. doi:10.1111/j.1469-8137.1992.tb00072.x
- Giovannetti, M., Sbrana, C., Avio, L., Strani, P., 2004. Patterns of below-ground plant interconnections established by means of arbuscular mycorrhizal networks. *New Phytologist* 164, 175–181.
- Gosling, P., Ozaki, A., Jones, J., Turner, M., Rayns, F., Bending, G.D., 2010. Organic management of tilled agricultural soils results in a rapid increase in colonisation potential and spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139, 273–279. doi:10.1016/J.AGEE.2010.08.013
- Hart, M.M., Antunes, P.M., Chaudhary, V.B., Abbott, L.K., 2018. Fungal inoculants in the field: Is the reward greater than the risk? *Functional Ecology* 32, 126–135. doi:10.1111/1365-2435.12976
- He, X.-H., Critchley, C., Bledsoe, C., 2003. Nitrogen Transfer Within and Between Plants Through Common Mycorrhizal Networks (CMNs). *Critical Reviews in Plant Sciences* 22, 531–567. doi:10.1080/713608315
- Hijri, M., 2016. Analysis of a large dataset of mycorrhiza inoculation field trials on potato shows highly significant increases in yield. *Mycorrhiza* 26, 209–214. doi:10.1007/s00572-015-0661-4
- Ipsilantis, I., Samourelis, C., Karpouzas, D.G., 2012. The impact of biological pesticides on arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry* 45, 147–155. doi:10.1016/J.SOILBIO.2011.08.007
- Jakobsen, I., Rosendahl, L., 1990. Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. *New Phytologist* 115, 77–83.
- Johnson, N.C., 1993. Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae? *Bulletin of the Ecological Society of America* 3, 749–757.
- Kabir, Z., Koide, R.T., 2000. The effect of dandelion or a cover crop on mycorrhiza inoculum potential, soil aggregation and yield of maize. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 78, 167–174. doi:10.1016/S0167-8809(99)00121-8
- Kabir, Z., O'Halloran, I., Fyles, J., Hamel, C., 1998. Dynamics of the mycorrhizal symbiosis of corn (*Zea mays* L.): effects of host physiology, tillage practice and fertilization on spatial distribution of extra-radical mycorrhizal hyphae in the field. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 68, 151–163. doi:10.1016/S0167-8809(97)00155-2
- Karagiannidis, N., Bletsos, F., Stavropoulos, N., 2002. Effect of Verticillium wilt (*Verticillium dahliae* Kleb.) and mycorrhiza (*Glomus mosseae*) on root colonization, growth and nutrient uptake in tomato and eggplant seedlings. *Scientia Horticulturae* 94, 145–156. doi:10.1016/S0304-4238(01)00336-3
- Klironomos, J.N., Hart, M.M., 2002. Colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi using different sources of inoculum. *Mycorrhiza* 12, 181–184.
- Loján, P., Senés-Guerrero, C., Suárez, J.P., Kromann, P., Schüßler, A., Declerck, S., 2017. Potato field-inoculation in Ecuador with *Rhizophagus irregularis*: no impact on growth performance and associated arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Symbiosis* 73, 45–56. doi:10.1007/s13199-016-0471-2

- Maherali, H., Klironomos, J.N., 2007. Influence of phylogeny on fungal community assembly and ecosystem functioning. *Science* 316, 1746–1748. doi:10.1126/science.1143082
- Makus, D.J., 2004. MYCORRHIZAL INOCULATION OF TOMATO AND ONION TRANSPLANTS IMPROVES EARLINESS. *Acta Horticulturae* 275–281. doi:10.17660/ActaHortic.2004.631.34
- Manoharan, L., Rosenstock, N.P., Williams, A., Hedlund, K., 2017. Agricultural management practices influence AMF diversity and community composition with cascading effects on plant productivity. *Applied Soil Ecology* 115, 53–59. doi:10.1016/J.APSOIL.2017.03.012
- Marro, N., Caccia, M., Doucet, M.E., Cabello, M., Becerra, A., Lax, P., 2018. Mycorrhizas reduce tomato root penetration by false root-knot nematode *Nacobbus aberrans*. *Applied Soil Ecology* 124, 262–265. doi:10.1016/J.APSOIL.2017.11.011
- Martí, H., 2014. Producción agroecológica de batata para el gran cultivo y la huerta familiar. INTA 80pp.
- Martins, M.A., Read, D.J., 1997. Efeitos da disrupção do micélio externo de fungos micorrízico-arbusculares sobre o crescimento vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 32, 1183–1189.
- Matsubara, Y., Hasegawa, N., Fukui, H., 2002. Incidence of Fusarium Root Rot in Asparagus Seedlings Infected with Arbuscular Mycorrhizal Fungus as Affected by Several Soil Amendments. *Engei Gakkai Zasshi* 71, 370–374. doi:10.2503/jjshs.71.370
- Matsubara, Y., Kayukawa, Y., Yano, M., Fukui, H., 2000. Tolerance of Asparagus Seedlings Infected with Arbuscular Mycorrhizal Fungus to Violet Root Rot Caused by *Helicobasidium mompa*. *Engei Gakkai Zasshi* 69, 552–556. doi:10.2503/jjshs.69.552
- Niwa, R., Koyama, T., Sato, T., Adachi, K., Tawaraya, K., Sato, S., Hirakawa, H., Yoshida, S., Ezawa, T., 2018. Dissection of niche competition between introduced and indigenous arbuscular mycorrhizal fungi with respect to soybean yield responses. *Scientific Reports* 8, 7419. doi:10.1038/s41598-018-25701-4
- O'Sullivan, J.N., Asher, C.J., Blamey, F.P.C., 1997. Nutrient disorders of sweet potato. Australian Centre for International Agricultural Research.
- Oehl, F., Laczko, E., Bogenrieder, A., Stahr, K., Bösch, R., van der Heijden, M., Sieverding, E., 2010. Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 724–738.
- Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., Wiemken, A., 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia* 138, 574–583.
- Olsson, P., Thingstrup, I., Jakobsen, I., Bååth, E., 1999. Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 1879–1887. doi:10.1016/S0038-0717(99)00119-4
- Ortas, I., Sari, N., Akpınar, C., Yetisir, H., 2013. Selection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Species for Tomato Seedling Growth, Mycorrhizal Dependency and Nutrient Uptake. *European Journal of Horticultural Science*. doi:10.2307/24126843
- Rillig, M.C., Field, C.B., Allen, M.F., 1999. Soil biota responses to long-term atmospheric CO₂ enrichment in two California annual grasslands. *Oecologia* 119, 572–577. doi:10.1007/s004420050821
- Saharan, K., Schütz, L., Kahmen, A., Wiemken, A.,

- Boller, T., Mathimaran, N., 2018. Finger Millet Growth and Nutrient Uptake is Improved in Intercropping with Pigeon Pea through “Biofertilization” and “Bioirrigation” mediated by Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Frontiers in Environmental Science* 6, 46. doi:10.3389/FENV-2018.00046
- Schnitzler, W.H., Gruda, N., 2003. QUALITY ISSUES OF GREENHOUSE PRODUCTION. *Acta Horticulturae* 663–674. doi:10.17660/ActaHortic.2003.614.99
- Schnitzler, W.H., Michalsky, F., 1996. [Cropping in growing medias with mycorrhiza]. [German]. ZVG Gartenbaureport.
- Schouteden, N., De Waele, D., Panis, B., Vos, C.M., 2015. Arbuscular Mycorrhizal Fungi for the Biocontrol of Plant-Parasitic Nematodes: A Review of the Mechanisms Involved. *Frontiers in Microbiology*.
- Sieverding, E., Friedrichsen, J., Suden, W., 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Sonderpublikation Der GTZ (Germany).
- Smith, S.E., Read, D.J., 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press, Cambridge, UK.
- Solaiman, M.Z., Hirata, H., 1996. Effectiveness of arbuscular mycorrhizal colonization at nursery-stage on growth and nutrition in wetland rice (*Oryza sativa* L.) after transplanting under different soil fertility and water regimes. *Soil Science and Plant Nutrition* 42, 561–571. doi:10.1080/00380768.1996.10416325
- Spatafora, J.W., Chang, Y., Benny, G.L., Lazarus, K., Smith, M.E., Berbee, M.L., Bonito, G., Corradi, N., Grigoriev, I., Gryganskyi, A., James, T.Y., O'Donnell, K., Roberson, R.W., Taylor, T.N., Uehling, J., Vilgalys, R., White, M.M., Stajich, J.E., 2016. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia* 108, 1028–1046. doi:10.3852/16-042
- Symanczik, S., Gisler, M., Thonar, C., Schlaeppli, K., Van der Heijden, M., Kahmen, A., Boller, T., Mäder, P., 2017. Application of Mycorrhiza and Soil from a Permaculture System Improved Phosphorus Acquisition in Naranjilla. *Frontiers in Plant Science* 8, 1263. doi:10.3389/fpls.2017.01263
- Tong, Y., Gabriel-Neumann, E., Ngwene, B., Krumbain, A., Baldermann, S., Schreiner, M., George, E., 2013. Effects of single and mixed inoculation with two arbuscular mycorrhizal fungi in two different levels of phosphorus supply on β -carotene concentrations in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) tubers. *Plant and Soil* 372, 361–374. doi:10.1007/s11104-013-1708-y
- Torres-Barragán, A., Zavaleta-Mejía, E., González-Chávez, C., Ferrera-Cerrato, R., 1996. The use of arbuscular mycorrhizae to control onion white rot (*Sclerotium cepivorum* Berk.) under field conditions. *Mycorrhiza* 6, 253–257. doi:10.1007/s005720050133
- van der Heijden, M.G.A., 2010. Mycorrhizal fungi reduce nutrient loss from model grassland ecosystems. *Ecology* 91, 1163–1171.
- van Kessel, C., Singleton, P.W., Hoben, H.J., 1985. Enhanced N-Transfer from a Soybean to Maize by Vesicular Arbuscular Mycorrhizal (VAM) Fungi. *Plant Physiology* 79, 562–3. doi:10.1104/PP.79.2.562
- Verbruggen, E., Rölting, W.F.M., Gamper, H.A., Kowalchuk, G.A., Verhoef, H.A., van der Heijden, M.G.A., 2010. Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. *New Phytologist* 186, 968–979. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03230.x

- Verbruggen, E., van der Heijden, M.G.A., Rillig, M.C., Kiers, E.T., 2013. Mycorrhizal fungal establishment in agricultural soils: factors determining inoculation success. *New Phytologist* 197, 1104–1109. doi:10.1111/j.1469-8137.2012.04348.x
- Wan, M.T., Rahe, J.E., Watts, R.G., 1998. A new technique for determining the sublethal toxicity of pesticides to the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17, 1421–1428. doi:10.1002/etc.5620170728
- Zhang, L., Zhang, J., Christie, P., Li, X., 2008. Pre-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi suppresses root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) on cucumber (*Cucumis sativus*). *Biology and Fertility of Soils* 45, 205–211. doi:10.1007/s00374-008-0329-8

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MANEJO ORGÁNICO SOBRE PARÁMETROS BIOLÓGICOS DEL SUELO EN SISTEMAS AGRÍCOLAS EXTENSIVOS



Jimena Ortiz¹



Valeria S.
Faggioli¹



Luciano
Gabbarini²



Tomás Baigorria¹



Vanesa R.
Pegoraro¹



Mónica F.
Boccolini¹



Cristian R.
Cazorla¹

1. INTA EEA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina

2. Laboratorio de Biología de Suelo, Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires, Argentina

Correo electrónico: ortiz.jimena@inta.gob.ar

Resumen

Las alternativas de producción sustentables son cada vez más requeridas en el actual contexto de creciente demanda de alimentos junto con la conservación de los recursos naturales. En regiones donde la agricultura es muy competitiva, como la Región Pampeana Argentina, las opciones de producción deben adecuarse a los exigentes estándares de producción. Es por ello que en este capítulo presentamos una opción de agricultura orgánica de cultivos de soja y maíz en siembra directa, basada en el uso de cultivos de cobertura invernal y la aplicación de compost de desechos de la producción porcina, actividad ganadera habitual en el área de estudio. Los resultados demuestran que el uso de cultivos de cobertura, en conjunto con técnicas apropiadas para su secado en el momento óptimo, y el control de malezas durante el ciclo de los cultivos de verano constituyen una herramienta válida para la obtención de rendimientos comparables con la producción convencional predominante en el área de estudio. Sumado a ello, la inclusión de cultivos de cobertura demostró incrementar la biomasa microbiana y funciones catalizadas por enzimas de la biota del suelo. Por otra parte, la aplicación de compost no generó los resultados esperados, en términos de mejora de la calidad del suelo y rendimiento por lo que se seguirá profundizando en el ajuste de dicha práctica para optimizar su aprovechamiento. Esperamos que nuestro aporte contribuya a la difusión de sistemas de agricultura orgánica en regiones de alta producción de granos y que promueva el trabajo inter-disciplinario entre especialistas de diversas áreas para la generación de rendimientos competitivos en un determinado contexto productivo.

Palabras claves: soja, maíz, indicadores de calidad de suelo, Argentina

Abstract

Sustainable production alternatives are increasingly required in the current context of growing demand of food along with the conservation of natural resources. In regions where agriculture is very competitive, such as the Pampas region of Argentina, the production options must be adapted to the demanding production standards. Here, we present an option of organic farming of soybean and corn crops in direct sowing, based on the use of winter cover crops and the application of compost from swine production, a common livestock activity in the study area. We found that the use of cover crops, along with appropriate techniques for killing the cover crop at the optimum time, and the control of weeds during the summer crops season are a valid tool for obtaining yields comparable to the conventional system predominant in the study area. In addition, the inclusion of cover crops demonstrated an increase in microbial biomass and functions catalysed by enzymes from soil biota. On the other hand, the application of compost did not generate the expected results, in terms of improving the quality of the soil and crop yield. Therefore, it is necessary to go deeper in the adjustment of this practice to optimize its use. We hope that our investigation contributes to the dissemination of organic agriculture systems and promotes the inter-disciplinary work among specialists of dissimilar areas for the generation of competitive returns in a certain productive context.

Keywords: soybean, corn, soil quality indicators, Argentina

1. Introducción

La producción agropecuaria argentina es una de las más competitivas del mundo tanto por la calidad de sus productos como por su volumen de producción. La región Pampeana, ubicada en el centro del país, se caracteriza por la fertilidad de sus suelos y un régimen hídrico que garantiza el éxito de las cosechas. En los últimos años, la adopción de tecnologías de intensificación a gran escala con el objetivo de incrementar la productividad de los establecimientos se convirtió en el denominador común de toda el área agrícola-ganadera.

Un aspecto clave de la intensificación agropecuaria ha sido la especialización en los procesos de producción, resultando en una reducción del número de especies de cultivos y ganado. En consecuencia, los sistemas tendieron a convertirse en monocultivos sobre una amplia superficie y en ganadería intensiva, en muchos casos estabulada. La intensificación ha derivado en una dramática simplificación (i.e. homogeneización) del paisaje con pérdidas incommensurables de la biodiversidad. En consecuencia, se ha afectado el funcionamiento natural del ecosistema al interferir en el ciclo de los nutrientes, control de enfermedades y plagas, y conservación del suelo. Además, el confinamiento de animales no sólo impacta negativamente en el paisaje al prescindir de las pasturas, sino que genera importantes volúmenes de residuos originados por las heces de los animales.

Después de una larga historia de separación y falta de interacción, los ecólogos y agrónomos han comenzado a combinar fuerzas para estudiar y ayudar a resolver los problemas que enfrentan nuestros sistemas de producción de alimentos. En este sentido, el campo de la agroecología ha comenzado

a formarse y a fortalecerse con una posición a favor de la integración, lo interdisciplinario y la co-construcción de conocimientos. En un contexto de producción altamente dependiente de insumos e intensificada, los primeros pasos hacia una agricultura sustentable deben orientarse hacia experiencias multidisciplinares que brinden herramientas promisorias para alcanzar a futuro el rediseño de los sistemas productivos (Gliessman, 1990).

En este capítulo, presentaremos una opción de producción agrícola orgánica capaz de competir con los estándares de producción de la región agrícola por excelencia de nuestro país. Conjuntamente con la rotación de cultivos de soja y maíz, se propone el empleo de cultivos de cobertura invernales para aumentar el rango de especies vegetales del sistema y aprovechar todos los beneficios que conlleva su utilización. En tanto que el manejo de malezas se llevó a cabo mediante el uso de maquinaria para el secado de los cultivos de cobertura y remoción de plantas indeseadas durante la implantación de los cultivos. Los residuos generados por establecimientos ganaderos se propusieron para la reposición de nutrientes mediante su uso como enmienda orgánica. Se presentan resultados de producción y evaluación de indicadores de sustentabilidad ambiental luego de tres años consecutivos de investigación.

Producción orgánica mediante el uso de cultivos de cobertura y compost en siembra directa

El uso de cultivos de cobertura en siembra directa para producción orgánica ha atraído la atención de

productores, investigadores y asesores debido a la habilidad de este sistema de incrementar la conservación del suelo, reducir los requerimientos de labores y el menor uso de combustibles comparado con sistemas orgánicos tradicionales. Este sistema se basa en el uso de cultivos de cobertura invernal que, secados mecánicamente con un rolo, generan un *mulch* vegetal que suprime malezas y promueve el crecimiento del cultivo estival (Mirsky et al., 2013). Dicha estrategia de control de malezas evita el uso de labranzas y su impacto negativo en la agregación, biología y erosión del suelo (Triplett y Dick, 2008). Además, los cultivos de cobertura de leguminosas contribuyen con nitrógeno que satisface las demandas del cultivo de verano subsiguiente. Modelos de simulación indican que este sistema tiene potencial para incrementar los beneficios ambientales en comparación con sistemas de producción orgánicos convencionales (Mirsky et al., 2012).

Los cultivos de cobertura de gramíneas son los más empleados previo a la siembra de soja. Estos cultivos, por ejemplo, avena, centeno, triticale; producen cantidades sustanciales de biomasa y proveen una buena supresión de malezas tanto como cultivo vivo como luego de su terminación gracias al *mulch* que forma en la superficie (Poffenbarger et al., 2015; Snapp et al., 2005). También previenen la erosión y aumentan la materia orgánica del suelo (Snapp et al., 2005), y protegen la calidad del agua superficial y subterránea al disminuir las pérdidas de nitrógeno y fósforo por lixiviación y escurrimiento (Adeli et al., 2011; Qi y Helmers, 2010). Además, proveen un hábitat para los polinizadores y otros insectos benéficos, tales como los predadores de semillas de malezas (Decourtye et al., 2010; Ward et al., 2011). Los cultivos de cobertura de leguminosas, tales como la vicia, se emplean previo al maíz ya que este cultivo necesita más nitrógeno externo que la soja. La leguminosa fija nitrógeno atmosférico y lo libera durante la descomposición. Sin embargo, la vicia, se descompone más rápidamente que un cereal y puede ser menos exitosa para la supresión de malezas. Es por ello que algunas investigaciones proponen el uso de mezclas

de gramíneas y leguminosas como cultivos de cobertura. Con la mezcla se logra un mejor control de malezas que la vicia en monocultivo, y una mayor provisión de nitrógeno que con la gramínea en monocultivo (Hayden et al., 2012; Poffenbarger et al., 2015). El cultivo de vicia también ha demostrado tener impacto sobre la fisiología de la planta del cultivo subsiguiente. Investigaciones recientes hallaron que la presencia de vicia como cultivo de cobertura estuvo relacionada con aumentos en la producción de proteínas vinculadas a la resistencia a enfermedades y senescencia vegetal (Fatima et al., 2012). Estos resultados sugieren que el aporte de la vicia no sólo se limita a la provisión de nitrógeno sino también que impacta de manera positiva en la fisiología del cultivo estival.

Las especies de malezas difieren ampliamente en su sensibilidad al *mulch* del cultivo de cobertura, y dicha sensibilidad es mediada por las características edáficas. En este sentido, la estructura de la comunidad de malezas y la densidad del banco de semillas determinará el éxito del manejo de malezas basado en el uso de cultivos de cobertura. Las malezas anuales de semillas pequeñas son más sensibles a la supresión por el residuo en superficie que las especies de semillas más grandes (Mohler y Te Asdale, 1993). Dicha selectividad relacionada al tamaño de las semillas responde al mayor contenido de sustancias de reserva y energía en el endosperma de las semillas más grandes lo cual le facilita la penetración de *mulch* más gruesos. Además, las semillas de mayor tamaño con más energía y nutrientes, tienen una mayor capacidad metabólica de detoxificar compuestos alelopáticos y superar bajos niveles de nitrógeno del medio que las semillas más pequeñas. En tanto que las malezas perennes, con relativamente grandes reservas y menores requerimientos de dormancia que las malezas anuales, pueden ser altamente insensibles e incluso estimuladas por el residuo del cultivo de cobertura (Mirsky et al., 2011). Entonces, independientemente del volumen de residuo generado, las malezas con baja sensibilidad al residuo del cultivo de cobertura son propensas a proliferar en los sistemas de

manejo de malezas mediante el uso de cultivos de coberturas. Es por ello que la evaluación y ajuste de los sistemas deben realizarse periódicamente para garantizar el éxito del cultivo de verano.

Uso de compost en sistemas de producción orgánica

Con el incremento de la producción en sistemas intensificados, se produce un aumento en la generación de desechos. Se estima que aproximadamente 4 billones de toneladas de desechos sólidos se producen cada año tanto de sistemas ganaderos como en urbanizaciones (Vaish et al., 2016). Dicha tendencia tiende a incrementarse con el paso de los años mientras que las capacidades para el tratamiento de residuos crecen a un ritmo más lento (Sharma et al., 2017).

En la Región Pampeana de Argentina, la producción ganadera constituye la principal fuente de producción de residuos orgánicos. La intensificación de la ganadería tuvo un fuerte crecimiento en la última década. Hasta 1999, sólo 17,5% de la faena vacuna provenía de sistemas intensificados. En 2004 la participación había aumentado a 21%, y en 2005 a 25%. En los años siguientes, la tendencia se acrecentó y se repitió en la lechería, con la reducción del número de tambos, aumentos en la escala y una mayor producción por vaca. Lo mismo ocurrió en la producción porcina con un incremento en el número de establecimientos de alta producción en estabulación.

Este incremento de los sistemas de engorde a corral o *feedlot* generó un aumento de los flujos de energía y de nutrientes, y el riesgo de contaminación. Los animales excretan al ambiente entre 60 y 80% del nitrógeno y el fósforo que ingieren, a través de la orina y las heces, que se concentran en áreas reducidas y conforman la principal fuente de nutrientes, metales pesados, antibióticos, microorganismos patógenos y de otras drogas veterinarias. Esta actividad también contribuye a la contaminación atmosférica por los gases de efecto invernade-

ro, a través de la emisión de metano y óxido nitroso, asociada a la dieta de los animales y al manejo del estiércol en sistemas intensivos.

El uso inadecuado de los desechos resulta en severos impactos negativos en el ambiente tales como la contaminación del agua, degradación del suelo y contaminación de la cadena alimentaria. Sin embargo, en la jerarquía de alternativas para el manejo de residuos, el reciclado mediante el uso de agricultura constituye la opción más sustentable entre los métodos de tratamiento de desperdicios. Utilizando el potencial de estos desechos para reciclar nutrientes valiosos de los cultivos y al mismo tiempo enmendar los suelos no sólo es una práctica de manejo sustentable sino que también minimiza el impacto negativo asociado con las prácticas tradicionales de eliminación de desechos. En este sentido, en algunos países tales como Sudáfrica, India y Australia, destinan el 80% de los desechos a la aplicación como enmiendas de suelo (Sharma et al., 2017).

El uso de enmiendas orgánicas al suelo es una herramienta integral para una agricultura sustentable debido a su aporte de compuestos orgánicos, nitrógeno, fósforo y otros nutrientes, especialmente, en suelos pobres en materia orgánica (Koutrobas et al., 2014). Se sabe que las enmiendas orgánicas alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Sharma et al., 2017). Algunas características, tales como la porosidad, retención de agua, estabilidad de agregados, capacidad de intercambio catiónico y contenido de humus son notablemente mejoradas mediante el uso de enmiendas generadas a partir de desechos orgánicos. Sloan et al. (2016) observó disminución en la resistencia a la penetración de un suelo arenoso y de la densidad aparente. Además, tales mejoras fueron más allá de la zona superficial del suelo por lo que sugieren que el movimiento de las sustancias orgánicas en el perfil del suelo permite evidenciar los beneficios de la enmienda en capas sub-superficiales del perfil.

Dada la importancia de las enmiendas en el reciclado de nutrientes esenciales para las plantas, su aplicación podría sustituir eficientemente a los fertilizantes de síntesis química en los sistemas de

producción orgánicos (Mirsky et al., 2013). Por otra parte, aplicaciones repetidas de enmiendas podrían tener un efecto significativo no deseado en algunas propiedades del suelo (Parat et al., 2007). Häni et al. (1996) evaluó el efecto a largo plazo de la aplicación de enmienda orgánica y observó un incremento en los valores de fósforo y metales pesados potencialmente perjudiciales para la biota microbiana y sus funciones. Hue y Ranjith (1994) postula que la concentración de metales en los desechos y su biodisponibilidad depende de varios factores tales como: 1) origen del material; 2) proceso de tratamiento de la enmienda; 3) propiedades del suelo tales como pH, contenido de materia orgánica y sesquióxidos, y potencial redox; y 4) dosis de aplicación de la enmienda. En cuanto al procesamiento del material, en un estudio que incluyó diferentes tipos de residuos orgánicos, Alvarenga et al. (2015) concluyen en que el compostaje es la mejor alternativa para lograr un material más estabilizado y reducir la potencial contaminación con metales pesados y sin problemas sanitarios.

Las enmiendas orgánicas afectan directa e indirectamente las propiedades biológicas y bioquímica del suelo. En consecuencia, procesos tales como la descomposición de la materia orgánica, ciclado de nutrientes y flujo de la energía en los procesos biogeoquímica puede ser severamente afectados debido a que son realizados por microorganismos cuyas funciones varían de acuerdo a las condiciones del ambiente edáfico. La actividad microbiana es mayormente desarrollada a través de enzimas cuya actividad es un parámetro clave del funcionamiento del suelo (Araujo et al., 2015). Esto se debe a que la mayoría de los procesos del suelo dependen de la actividad enzimática tales como la liberación de nutrientes y la descomposición de la materia orgánica. Altos niveles de materiales orgánicos y nutrientes en la enmienda aplicada al suelo conlleva incrementos en la actividad microbiana y bioquímica así como de la biomasa microbiana (Marschner et al., 2003; Roig et al., 2012). En dosis adecuadas, las enmiendas constituyen un sustrato que estimula la actividad biológica y estabiliza-

ción de enzimas extracelulares y la proliferación de microorganismos. A largo plazo, las enmiendas orgánicas producen una retroalimentación positiva en la actividad microbiana del suelo puesto que la acumulación de enzimas activas producidas por los microorganismos agilizará la mineralización de compuestos orgánicos complejos aportados con las enmiendas (Torri et al., 2014). Sin embargo, la presencia de metales pesados puede afectar negativamente la actividad microbiana (Kandeler et al., 2000). Por otra parte, no sólo los microorganismos responden a la aplicación enmiendas, sino que la microfauna ha demostrado ser sensible a dicha práctica de manejo. Treonis et al. (2010) estudiaron el efecto de la aplicación de enmiendas durante tres ciclos de cultivos y observaron incrementos en la densidad de nematodos y protozoos, principalmente en los primeros 5 cm de suelo. Los autores reportaron un aumento en la densidad poblacional de todos los grupos de nematodos en respuesta a la aplicación de enmiendas pero fue particularmente más importante en el grupo de nematodos fungívoros. Finalmente, considerando que las enmiendas no sólo aportan material orgánico sino que también una comunidad microbiana que integra la enmienda, Saison et al., (2006) estudiaron el impacto de dichas comunidades sobre la composición de la comunidad de microorganismos de un suelo en diferentes dosis de aplicación. Observaron que la aplicación de enmiendas genera cambios significativos en la actividad, tamaño y composición de dichas comunidades y que, ante dosis elevadas, no logran reestablecer la composición inicial. Los autores también demostraron que tal resultado se debe a las características físico-químicas de la matriz de la enmienda y no a su composición microbiana. Sin embargo, son necesarios más estudios como para generalizar dichos resultados, especialmente con comunidades específicas de la biota del suelo, por ejemplo, nitrificadores, bacterias y hongos supresivos, etc., y con diferentes tipos de enmiendas, suelo y clima.

Indicadores biológicos de calidad de suelos

Los indicadores son parámetros cuya magnitud refleja procesos esenciales del funcionamiento del suelo. Términos como salud y calidad del suelo emplean habitualmente para referirse al equilibrio de propiedades físicas, químicas y biológicas para mantener la producción sin afectar la sustentabilidad del sistema. Para Anderson (2003), en cambio, la salud del suelo está más asociada a sus componentes biológicos, es decir, el mantenimiento de los organismos del suelo y sus funciones como reguladores del ciclo de nutrientes y en consecuencia, de la fertilidad del suelo. En los sistemas productivos convencionales la salud del suelo en sí misma podría ser reemplazada mediante la adición de fertilizantes de síntesis química, sin embargo la calidad está más vinculada a un objetivo productivo a lo largo del tiempo.

En los sistemas de producción orgánica algunas de las prácticas de manejo pueden deteriorar de manera irreversible un suelo por lo que el monitoreo y seguimiento de parámetros edáficos es la herramienta más certera para tomar decisiones de manejo. Dentro del set de variables para el diagnóstico de la calidad del suelo, los microorganismos, al ser altamente sensibles a las condiciones de su hábitat, reflejan de manera inmediata disturbios en el suelo. Es por ello que los indicadores microbiológicos han cobrado gran importancia en los últimos años. Sin embargo, son los efectos en las funciones microbianas lo que podría traer efectos más negativos en el largo plazo debido al rol clave que los microorganismos desempeñan en el ciclo de nutrientes (Bardgett y van der Putten, 2015; Bender et al., 2016). Es decir, un desbalance en las funciones podría desencadenar pérdidas de nitrógeno, fósforo y azufre en lugar de almacenarse en el suelo. Además, una mineralización excesiva de material orgánico podría generar disminución de materia orgánica lo cual repercute en todas las propiedades físicas y químicas en la que la materia orgánica participa. Por el contrario, la ausencia de mineralización generaría una acumulación de re-

siduos y escasez de nutrientes en el medio. Debido a su participación en procesos vitales del suelo, Anderson (2003) propone el estudio de indicadores microbianos eco-fisiológicos ya que reflejan la funcionalidad microbiana.

Las mediciones de biomasa y respiración microbiana proporcionan valiosa información sobre el estado fisiológico de las comunidades de microorganismos. Las técnicas para medir la respiración microbiana consisten en la incubación de una muestra de suelo y posterior cuantificación de la cantidad de dióxido de carbono liberado en un período considerado de tiempo. La biomasa microbiana se ha definido como la parte viva de la materia orgánica del suelo y comprende entre el 1 y 5% de la materia orgánica del suelo. El interés en conocer el contenido de biomasa microbiana del suelo radica en su función como fuente de nutrientes y su rol en la formación y estabilización del suelo. El contenido de carbono por unidad de biomasa microbiana constituye el coeficiente metabólico, un índice que refleja directamente el estado fisiológico de un suelo. Si la respiración de la comunidad microbiana es baja, habrá más carbono disponible para la producción de biomasa microbiana y aumento del carbono orgánico del suelo.

Si algún disturbio en el suelo genera cambios que afectan a los miembros de la comunidad microbiana, estos serán detectados a nivel de la comunidad mediante cambios en la actividad microbiana los cuales pueden ser medidos mediante la degradación enzimática de ciertos sustratos. En forma general, se denomina actividad enzimática y está relacionada a algún compuesto específico. Por ejemplo, la actividad fosfatasa se refiere a la degradación de sustratos ricos en fósforo orgánico; la actividad ureasa mide la degradación de moléculas de urea; y así sucesivamente.

Las fosfatasas son enzimas que catalizan la hidrólisis de ésteres fosfato con una gran especificidad y son capaces de actuar en un gran rango de sustratos muy diferentes estructuralmente. Las más estudiadas son las fosfomonoesterasas ya que catalizan la hidrólisis de fosfato-monoéster orgánico

a fosfatos inorgánicos los cuales pueden ser tomados por las plantas. De acuerdo a su rango de pH óptimo se clasifican como ácidas, neutras y alcalinas. Tanto las fosfatasas ácidas como las alcalinas desempeñan un importante papel en la nutrición de las plantas ya que su actividad en la rizosfera es más alta que en el resto del suelo, mientras que el fósforo orgánico en esa zona muestra la tendencia opuesta (Tarafdar y Jungk, 1987). El rango de pH óptimo de fosfatasas alcalinas es 9-10, y de las fosfatasas ácidas es 4-6.5, ambos tipos de fosfatasas se encuentran en el suelo. Las fosfatasas ácidas predominan en suelos ácidos mientras que las alcalinas lo hacen en suelos de reacción alcalina. La actividad fosfatasa no sólo es afectada por el pH, sino que también por la temperatura, el contenido de materia orgánica, humedad y anaerobiosis. Debido a su sensibilidad son muy estudiadas en sistemas antrópicos para evaluar el efecto de diferentes prácticas sobre su actividad como indicador de degradación del medio. Se ha observado que la presencia de cultivos de cobertura genera incrementos en la actividad de esta enzima, principalmente de leguminosas (Serri et al., 2017).

Las sulfatasas tienen un rol similar al de las fosfatasas en lo relacionado a la mineralización de nutrientes para su aprovechamiento por las plantas. Estas enzimas catalizan la hidrólisis de ésteres sulfato orgánicos y liberan iones sulfato a la solución de suelo mediante una reacción irreversible. La actividad de esta enzima decrece con la profundidad y se correlaciona con el contenido de carbono orgánico, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico. La importancia de las sulfatasas en la mineralización de azufre responde a que la mayor parte del azufre del suelo se encuentra en formas orgánicas.

Las enzimas encargadas de la degradación de estructuras celulósicas y glucosídicas en el suelo se denominan celulasas y glucosidasas. Su nombre varía según el sustrato empleado en la determinación de laboratorio. La celulosa es el polisacárido estructural más abundante en las paredes celulares de los vegetales. Es por ello que la degradación microbiana de la celulosa es un rol clave en la des-

composición de los residuos vegetales. Las celulasas catalizan la hidrólisis de la celulosa en glucosa y es llevada a cabo por un complejo de enzimas exo e intra-celulares. La degradación de la celulosa en el suelo es un proceso lento que depende de la concentración, ubicación y movilidad de las celulasas. El tipo de residuo, el pH, temperatura y contenido de agua afectan significativamente la degradación de la celulosa. La actividad de las celulasas se incrementa en el suelo rizosférico en comparación con el suelo sin interferencia de la raíz. La cubierta vegetal, la estación del año y las prácticas agrícolas inciden directamente sobre la actividad celulasa del suelo. Estas enzimas son principalmente producidas por hongos. Otro grupo de enzimas encargadas de la degradación de la celulosa son las glucosidasas. Entre éstas, la beta-glucosidasa cataliza la degradación de disacáridos y ha sido detectada en microorganismos, plantas y animales. Al igual que el conjunto de celulasas, la glucosidasas son claves para el ciclado de materia orgánica del suelo a partir de los residuos vegetales. Catalizan la hidrólisis y la biodegradación de diversos glucósidos presentes en los desechos vegetales que se descomponen en el ecosistema. Su producto final es la glucosa, una importante fuente de energía y de C para los microbios en el suelo. En general, las actividades de la glucosidasa pueden proporcionar evidencia avanzada de cambios en el carbono orgánico mucho antes de que pueda medirse con precisión mediante otros métodos de rutina (Dick, 1994). Las beta-glucosidasas son muy sensibles a los cambios en el pH y las prácticas de manejo del suelo. Esta propiedad se puede utilizar como un buen indicador bioquímico para medir los cambios ecológicos que resultan de la acidificación del suelo en situaciones que involucran actividades de esta enzima.

Las enzimas quitinasas o quitinolíticas son enzimas clave responsables de la degradación e hidrólisis de la quitina (poli -1-4- (2-ncetamido-2-desoxi) -D-glucósido). También se consideran como el principal componente estructural de muchas paredes de células fúngicas que utilizan los mecanismos de hiperparasitismo contra el ataque de plagas / pató-

genos. Esta enzima de importancia agrícola es producida o liberada por varios organismos, incluidas plantas y microorganismos. Por ejemplo, en las plantas, la enzima quitinasa se induce y se acumula en respuesta a infecciones microbianas y se cree que está involucrada en la defensa de las plantas contra las infecciones por patógenos. Su presencia en diferentes formas en el ecosistema ha demostrado su efectividad en el control de enfermedades transmitidas por el suelo como *Sclerotium rolfsii* y *Rhizoctonia solani* en frijoles y algodón, respectivamente (Ordentlich et al., 1988; Shapira et al., 1989). Por otra parte, la quitina es una de las formas dominantes de nitrógeno que ingresa al suelo como constituyente de los exoesqueletos de artrópodos y hongos. Esto es así ya que durante la hidrólisis de quitina se liberan compuestos orgánicos nitrogenados los cuales son posteriormente mineralizados a nitrógeno inorgánico. Como el control biológico de la mayoría de las enfermedades patógenas y la reducción en el uso de fuentes externas de nutrientes están ganando popularidad en los últimos tiempos debido a su amigabilidad ambiental, es probable que una mejor comprensión de las enzimas quitinolíticas descubra más vías de aplicación para esta enzima en los sistemas agrícolas y, consecuentemente, aumente el crecimiento de la planta y los rendimientos finales.

Propuesta de producción agrícola orgánica en la región pampeana argentina

Los resultados que presentaremos a continuación surgieron a partir de inquietudes y demandas de información de productores, asesores e investigadores. Los conocimientos generados en diferentes disciplinas (biología de suelos, manejo de cultivos, uso de abonos), se agruparon con el objetivo de lograr una producción de bajo uso de insumos, y al cabo de unos años alcanzó rendimientos competitivos. Así, luego de éxitos y fracasos acumulados, se puso en funcionamiento el experimento cuyos resultados presentaremos y discutiremos en este capítulo.

El experimento de campo para estudio de alternativas de producción sin uso de insumos de síntesis química se inició en el año 2016. El ensayo está ubicado en la localidad de Marcos Juárez (Córdoba, Argentina) (32°42'44''S, 62°05'46''O). El suelo está identificado como Argiudol típico y sus características se detallan en la **Tabla 1**. Las precipitaciones medias anuales son de 860 mm, distribuidas principalmente en los meses de verano (INTA, 1978). La rotación de cultivos evaluada fue trigo/soja – maíz, en siembra directa. El ensayo estuvo basado en dos herramientas agronómicas claves: cultivos de cobertura invernales y utilización de compost.

Unidad

Suelo*	Argiudol típico	
Textura	Franco-limoso	
Capacidad de retención hídrica (0-150 cm)	mm	230
% Materia Orgánica (0-20 cm)	%	3,3
% Carbono orgánico (0-20 cm)	%	1,9
% Nitrógeno total	%	0,18
Relación C:N	10,6	
Fósforo extractable Bray 1 (0-20 cm)	mg kg ⁻¹	22

Referencias: * Clasificación de suelo según taxonomía propuesta por USDA, 2014.

Tabla 1: Características edáficas del sitio experimental

El plano del experimento con una imagen aérea se puede observar en la **Figura 1**. En la **Tabla 2** se presentan los detalles de manejo durante el ciclo de los cultivos de coberturas y cultivo estival y en la **Tabla 3** las características del compost empleado. En las fotografías (**Foto 1 – 4**), se muestran diferentes momentos transcurridos en el experimento, tales como el control mecánico del cultivo de cobertura y malezas (**Foto 1**), aplicación del compost (**Foto 2**), y comparaciones entre la implantación de cultivos de maíz y soja sobre parcelas de barbecho y cultivos de cobertura (**Foto 3 y 4**).

Los cultivos de cobertura en un sistema orgánico

Uno de los aspectos claves para el éxito de la utilización de cultivos de cobertura es lograr una adecuada acumulación de biomasa vegetal. En nues-

tro experimento, la producción de materia seca de triticale en el año 2016 estuvo comprendida entre 7659 y 6730 kg ha⁻¹, mientras que la producción de *Vicia villosa* fue de 6067 y 5857 kg ha⁻¹, con aplicación de compost y sin aplicación de compost, respectivamente (**Figura 2**). Se observó que la aplicación de compost no mejoró significativamente la producción de materia seca del cultivo de cobertura ($p>0.05$). Dicho parámetro es muy dependiente de las condiciones climáticas del año y el manejo agronómico, por ejemplo: la fecha de siembra, nutrición, etc. En un estudio realizado en suelo Argiudol típico utilizando triticale como cultivo de cobertura con un adecuado perfil de humedad (entre 80 y 100% de la capacidad de campo) y aplicación de 100 kg N ha⁻¹ en forma de urea se alcanzaron producciones de materia seca de 15940 kg ha⁻¹ (Bertolla et al., 2012). Mientras que en años con contenidos de humedad inferiores al 50% de capacidad de campo a la siembra, se lograron producciones de

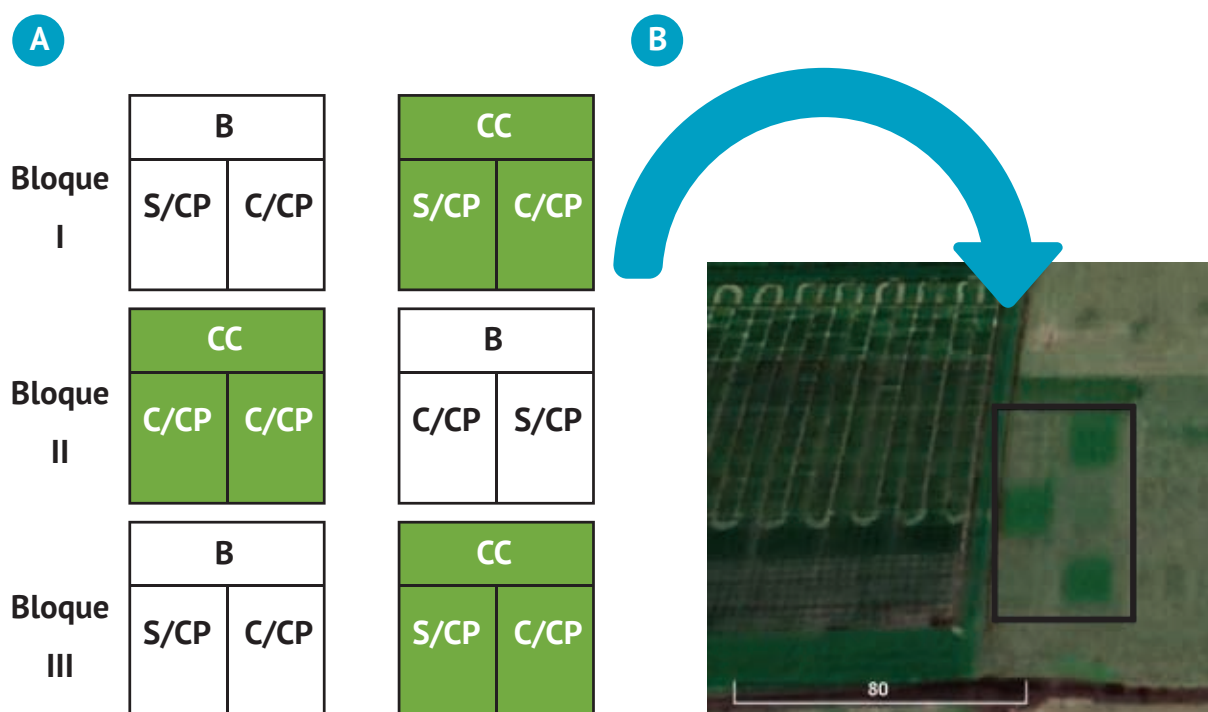


Figura 1. Plano del experimento con una imagen aérea donde se puede observar los detalles de manejo durante el ciclo de los cultivos de coberturas

Campaña		Fecha de siembra	Cultivar	Densidad	Distancia entre surco	Secado/ Cosecha	Aplicación de Compost
2016/2017	CC	09/06/2016	Triticale Yagan	80 Kg/ha (150pl/m ²)	17,5 cm	18/10/2016	02/06/2016
	cultivo estival	25/11/2016	Soja DM 48	250000 pl/ha	52 cm	17/04/2017	x
2017/2018	CC	21/04/2017	Vicia villosa	15 kg/ha (25pl/m ²)	17,5 cm	16/11/2017	x
	cultivo estival	06/12/2017	Maíz Colorado ACA530	77000 pl/ha	52 cm	23/05/2018	08/12/2017
2018/2019	CC	02/06/2018	Multiespecies	Centeno Don Enrique: 3 kg/ha Triticale Calchin: 7 kg/ha Avena Strig Forrateg: 5kg/ha Vicia villosa Cencerro: 12 kg/ha Trebol Persa: 2,5kg/ha	17,5 cm	oct-18	x

Tabla 2. Manejo del ensayo durante los ciclos de cultivos de cobertura de invierno (CC) y cultivo estival para las diferentes campañas.



Foto 1. (A). Rolofaca para secado de cultivo de cobertura (CC). Rolado de triticale como CC en la EEA INTA Marcos Juárez. (B) Cultivador para desmalezamiento en post-emergencia del cultivo estival. Desmalezamiento de soja sobre tritricale como CC. (Modelo de cultivador, no es el de la EEA Marcos Juárez. En la EEA hay un prototipo similar).



Foto 2. (A) Aplicación superficial de compost pre-siembra. (B) Cocones y lombrices californianas presentes en el compost de cama profunda de cerdo.

5560 kg ha⁻¹ (Baigorria y Cazorla, 2010). En cuanto a *Vicia villosa*, las producciones de materia seca van de 3000 a 8000 kg ha⁻¹ según las características edafo-climáticas y de manejo (Capurro et al., 2012; Rillo et al., 2012; Baigorria et al., 2011; Vanzolini et al., 2012). Los antecedentes mencionados

demuestran que la productividad de los cultivos de cobertura es variable según las características de producción y que la materia seca acumulada en nuestra experiencia, sin agregado de insumos de síntesis química, estuvo comprendida dentro de valores normales para el área de estudio.

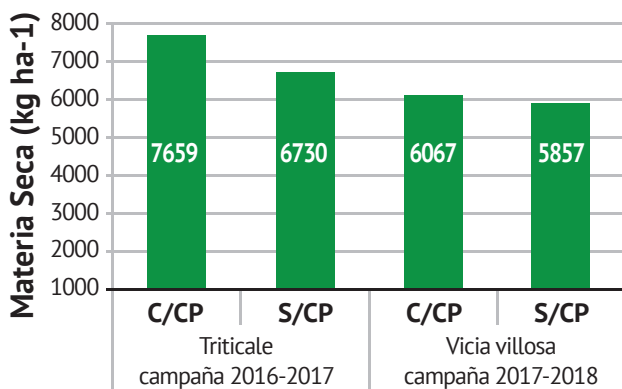


Figura 2. Producción de materia seca (kg ha⁻¹) al momento de secado de los cultivos de cobertura: triticale en el año 2016 y vicia en el año 2017, con aplicación de compost (C/CP) y sin aplicación de compost (S/CP).

Los cultivos de cobertura y la supresión de malezas

El control de malezas es el cuello de botella en los sistemas de producción orgánica, principalmente en aquellos basados en la siembra directa. Es por ello que la inclusión de cultivos de cobertura es una estrategia prometedora para el manejo de las plantas espontáneas. Como se observa en las **Fotos 3 y 4** hubo un adecuado control de malezas gracias al *mulch* del cultivo de cobertura tanto en maíz como en soja, respectivamente. En la campaña 2016-2017 las densidades de malezas fueron de 3 a 100 plantas m⁻² con *Conyza bonariensis* (L), *Gamochaeta spicata* (L) y *Sonchus arvensis* (L.) como las especies predominantes en invierno, *Amaranthus hybridus* (L), *Echinochloa crusgalli* (L), *Digitaria sanguinalis* (L) y *Eleusine indica* (L) como malezas

Variables	Unidades	Campaña 2016-2017	Campaña 2017-2018	Valor de referencia	Referencia	Cantidad aportada (kg ha ⁻¹)	
Humedad	%	35,2	37,31	≤40	BOE (2013)		
Materia seca	%	64,8	62,7	≥60	BOE (2013)	12960	12540
Materia orgánica	%	13,6	13,4	>15	SENASA (2011)	2720	2680
				≥35	BOE (2013)		
Carbono orgánico	%	7,6	7,5	-		1520	1500
C/N				<20	BOE (2013)	-	-
N	%	1,0	0,6	>1	BOE (2013)	200	120
P	%	0,9	1,85			120	370
pH		6,7	8,2			-	-
CE	dS m ⁻¹	3	1,6	4	SENASA (2011)	-	-

Tabla 3. Composición físico-química del compost de cama profunda porcina.



Foto 3 (A y B) Cultivo de soja sobre residuo de cultivo de cobertura triticale. (C y D) Cultivo de soja sobre barbecho.



Foto 4. (A y B) Cultivo de maíz sobre residuo de cultivo de cobertura *Vicia villosa*. (C y D) Cultivo de maíz sobre barbecho.

predominantes en verano. La aplicación de compost no generó diferencias entre censos y se mantuvo la densidad de malezas de 3 a 9 plantas m^{-2} en el cultivo de cobertura triticale con y sin aplicación de compost, respectivamente. Al momento del rolado, el triticale redujo la cantidad de malezas en un 94 % respecto al barbecho, causado por la barrera física que ejerce el residuo vegetal (**Figura 3A**). Similares resultados fueron encontrados por Weber *et al.* (2017) quienes lograron una reducción del 61% en la densidad de malezas utilizando centeno y cebada como cultivo de cobertura. Post siembra de la soja, la densidad de malezas en barbechos con y sin compost aumento a 61 y 100 plantas m^{-2} , respectivamente; mientras que con triticale la densidad fue de 9 plantas m^{-2} . Tales resultados evidencian que el cultivo de cobertura tuvo un efecto supresor de las malezas en pre-siembra y post-siembra de la soja.

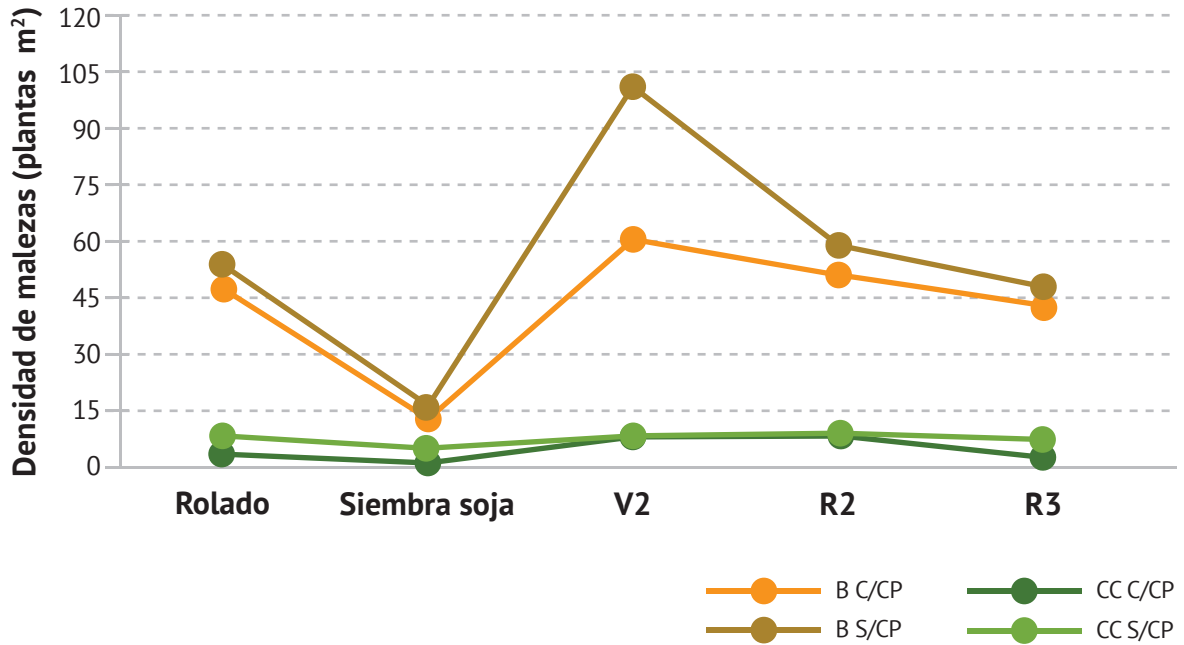
En la campaña 2017-2018 la densidad de malezas fue de 87 a 461 pl. m^{-2} . La utilización de *Vicia villosa* como cultivo de cobertura invernal modificó la dinámica de malezas al disminuir significativa-

mente su densidad (**Figura 3B**). La vicia logró una reducción del stand de malezas del 81% respecto al barbecho mecánico. En ambas campañas, no hubo efecto por la aplicación del compost porcino, pero al aplicarlo sobre un cultivo este lo aprovecho para producir biomasa, mientras que al ser aplicado al barbecho, los nutrientes fueron aprovechados por las malezas, aumentando su cantidad y biomasa.

Respuesta de indicadores biológicos de calidad de suelos

Con el fin de estimar si una práctica de manejo es más o menos perjudicial que otra, deben emplearse indicadores para cuantificar su impacto con fines comparativos. En este experimento se midieron indicadores microbianos reconocidos por su sensibilidad y por formar parte de procesos esenciales del suelo. Se cuantificó la respiración microbiana y el contenido de carbono en la biomasa microbiana, y se estimó la relación entre ambas variables para la determinación del coeficiente metabólico del suelo

A Campaña 2016-2017



B Campaña 2017-2018

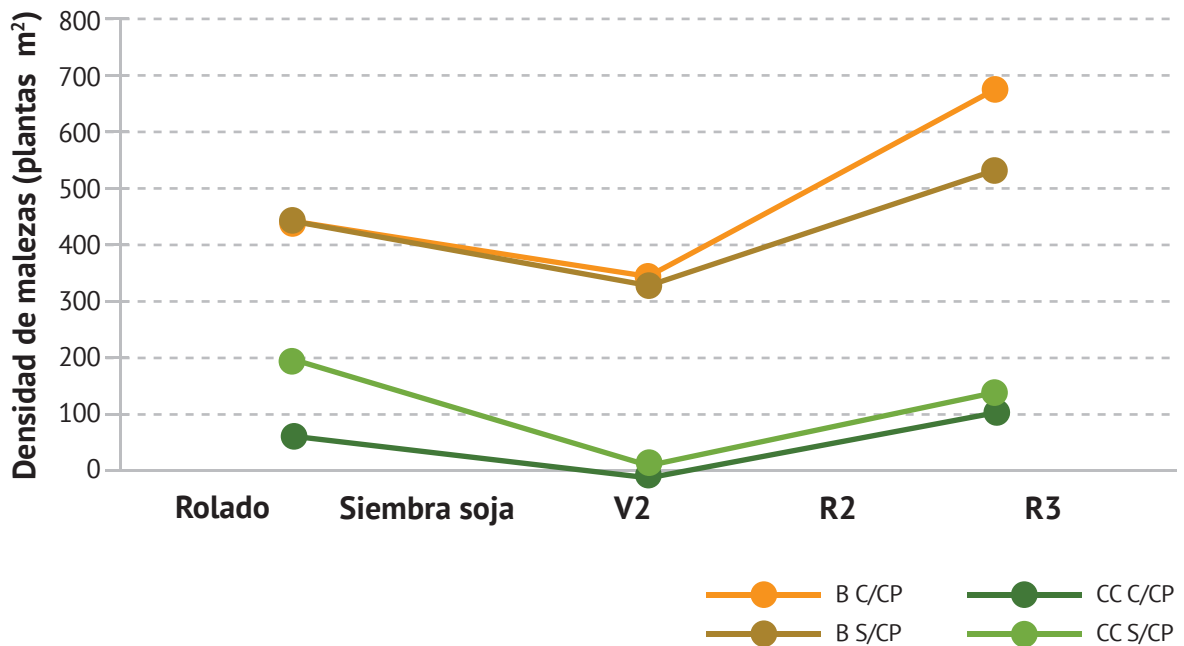


Figura 3 A. Dinámica de malezas (plantas. m²) en el cultivo de soja para los diferentes tratamientos. 3 B. Dinámica de malezas (plantas. m²) en el cultivo de maíz para los diferentes tratamientos. (*) Indica diferencias significativas (p<0,05) entre tratamientos.

(qCO_2) (Alef y Nanipieri, 1995). Además, se midió la actividad de las enzimas microbianas betaglucosidasa, fosfatasa, acetilesterasa, quitinasa, arilsulfatasa, ureasa (Marx et al., 2001).

Los tratamientos de cultivos de cobertura y aplicación de compost afectaron diferencialmente a las funciones microbiológicas. En el período 2016-2017, la biomasa microbiana y el coeficiente metabólico (qCO_2) respondieron a la presencia de cultivo de cobertura (Tabla 4). El contenido de biomasa microbiana tuvo mayores valores en las situaciones con cultivo de cobertura mientras que el qCO_2 fue menor. El qCO_2 se determina teniendo en cuenta la

performance fisiológica sobre el total de biomasa microbiana por unidad de tiempo. En un sentido estricto, el coeficiente metabólico es el cociente entre el dióxido de carbono generado por los microorganismos y la biomasa microbiana del suelo. En general, los procesos son más eficientes cuando el qCO_2 es más bajo, y los valores más altos se relacionan a situaciones de degradación ambiental o sistemas de producción poco sustentables (Ortiz et al., 2015). Por otra parte, las funciones microbianas en el ciclo de los nutrientes se midieron a través de enzimas específicas. La ureasa, enzima participante del ciclo del nitrógeno, respondió a la aplicación

Tratamientos	FDA $\mu\text{g fluor g}^{-1} \text{ h}^{-1}$	Fosfatasa $\mu\text{gPNF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$	Arilsulfatasa $\mu\text{gPNF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$	Ureasa $\mu\text{g urea g}^{-1} \text{ h}^{-1}$	CBM mg g^{-1}	RM mg g^{-1}	qCO_2
Barbecho con compost	37,5	604,8	86,3	62,6 b	0,15 b	0,37	2,87 a
Barbecho sin compost	31,7	728,6	65,3	83,6 a	0,13 b	0,36	2,62 a
Cultivo de cobertura con compost	38,6	701,4	106,6	67,5 b	0,24 a	0,34	1,45 b
Cultivo de cobertura sin compost	39,1	642,0	43,4	74,5 a	0,21 a	0,28	1,43 b
MLGM							
Cultivo Cobertura	ns	ns	ns	ns	0,0418	ns	0,09
Compost	ns	ns	ns	0,0172	ns	ns	ns
Cobertura* Compost	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Referencias: FDA: enzima de la hidrólisis de fluoresceína diacetato, CBM: Carbono de Biomasa Microbiana; RM: Respiración microbiana, qCO_2 : Coeficiente metabólico. Letras diferentes dentro de la columna indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para el factor Cultivo de Cobertura ó Compost (no se observaron interacciones significativas) según Modelo Lineal Generalizado Mixto (MLGM)

Tabla 4. Actividad enzimática (FDA, fosfatasa, arilsulfatasa, ureasa), y actividad microbiana general (Carbono de la biomasa microbiana, respiración microbiana, coeficiente metabólico) en los diferentes tratamientos a 0-5 cm profundidad. Medición realizada previa a la siembra de soja (período 2016-2017)

de compost y tuvo valores más bajos en los tratamientos con aplicación (**Tabla 4**). Según Bastida *et al.*, (2008) el efecto de la fertilización orgánica en la actividad de ureasa se divide en dos etapas: la primera con un aumento de la actividad debido a la incorporación de materia orgánica y una segunda etapa donde hay una disminución de la actividad de la enzima. Esta disminución puede deberse a la mineralización del nitrógeno, alta concentración de metabolitos como NH_4^+ o la presencia de metales pesados que podrían inhibir las actividades enzimáticas (García-Gil, *et al.* 2000).

El comportamiento de las variables biológicas fue más significativo en el segundo año del experimento (**Figura 4**). En la evaluación del período 2017-2018, la utilización de cultivo de cobertura presentó mayor actividad enzimática de quitinasa, betaglucosidasa, acetilesterasa y fosfatasa al momento de secado, mientras que la aplicación de compost porcino no generó ningún incremento. La rizosfera del cultivo de cobertura y la reducción en las labranzas podrían explicar el incremento en las actividades enzimáticas. Por otra parte, aunque el tratamiento sin cultivo de cobertura poseía un gran número de plantas espontáneas, dicha diversidad de plantas no generó incrementos en la actividad enzimática. Esto sugiere que puede haber cualidades únicas para cada planta que aumenten la actividad de enzimas específicas.

Producción de soja y maíz

Los rendimientos de soja y de maíz fueron afectados por el factor principal (cobertura), no se observaron diferencias por la aplicación de compost (**Figura 5 y 6**). En soja, oscilaron entre 318 a 1826 kg ha⁻¹, mientras que en maíz variaron de 818 a 8656 kg ha⁻¹. Con el cultivo de cobertura triticales, se logró un rendimiento de soja 71% mayor que en el barbecho. Similares resultados fueron reportados por Reddy *et al.* (2003) y Davis (2010) quienes lograron rendimientos de 1710 y 2100 kg ha⁻¹ respectivamente, en soja con cultivo de cobertura centeno, sin aplica-

ción de agroquímicos en siembra directa. Baigorria *et al.*, (2018), en la localidad de Marcos Juárez, con triticales como cultivo de cobertura y sin aplicación de herbicidas, logró un rendimiento 24% mayor que en el barbecho. Reddy *et al.* (2003) encontró que el rendimiento de soja fue 35% mayor al utilizar centeno como cultivo de cobertura respecto al barbecho. En maíz, con *Vicia villosa* como cultivo de cobertura antecesor, se logró un rendimiento promedio 89% mayor que en barbecho (**Foto 5**). Baigorria *et al.*, (2018) lograron un 48% mayor con vicia como cultivo de cobertura respecto a barbecho. Por otro lado, Mischler *et al.*, (2010) obtuvo un rendimiento de 8400 kg ha⁻¹ en maíz el cual representó un 74% más de rendimiento luego de vicia con respecto de un testigo sin cultivo de cobertura. En términos generales, los cultivos de coberturas gramíneas y leguminosas han incrementado los rendimientos de los cultivos de soja y maíz en producciones sin uso de agroquímicos.

Conclusiones

Las estadísticas internacionales prevén un aumento sin precedentes de la demanda de alimentos debido al incremento de la población. Es por ello que la agricultura enfrenta el gran desafío de generar más producción pero, al mismo tiempo, reducir los impactos negativos sobre el suelo, el agua y el cambio climático global. La intensificación sustentable de los sistemas agrícolas ha sido materia de estudio en la Red de Agroecología de INTA aunando esfuerzos en un trabajo interdisciplinario que nos permita brindar herramientas que serán imprescindibles en el futuro.

La producción orgánica es una herramienta promisoriosa en cuanto a la sustitución de insumos de síntesis química por opciones naturales. Sin embargo, las restricciones en la fertilidad, la competencia por recursos entre los cultivos y las malezas, y las labores mecánicas, han hecho que dicha práctica no sea sustentable en el largo plazo. Entonces, la adaptación de tecnologías de sistemas convencio-

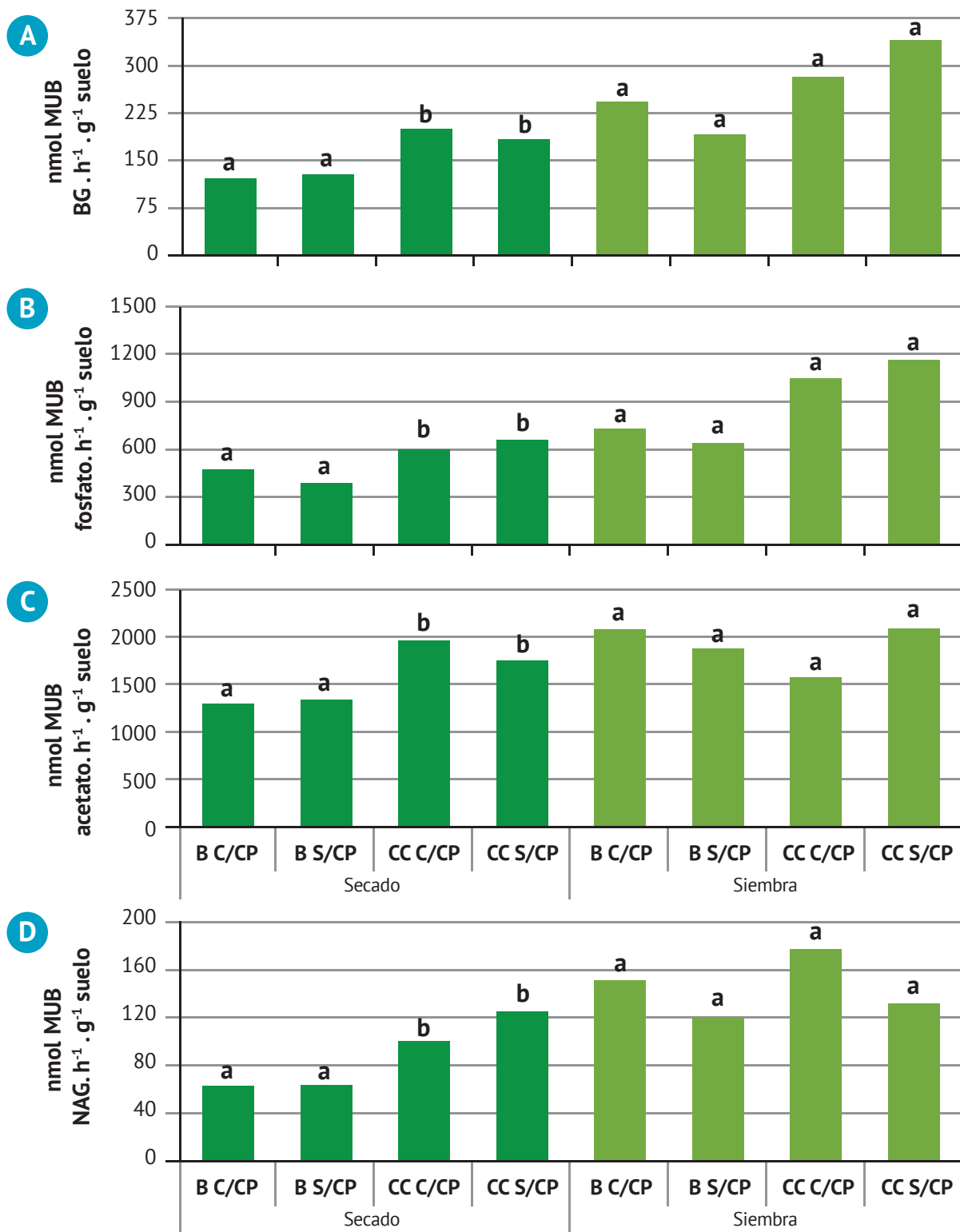


Figura 4. Actividades enzimáticas de: A) betaglucosidasa (BG); B) fosfatasa (FA); C) acetilesterasa (AE); y D) quitinasa (NAG) para los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) dentro de cada momento (secado del cultivo de cobertura o siembra del cultivo de maíz) (período 2016-2018).

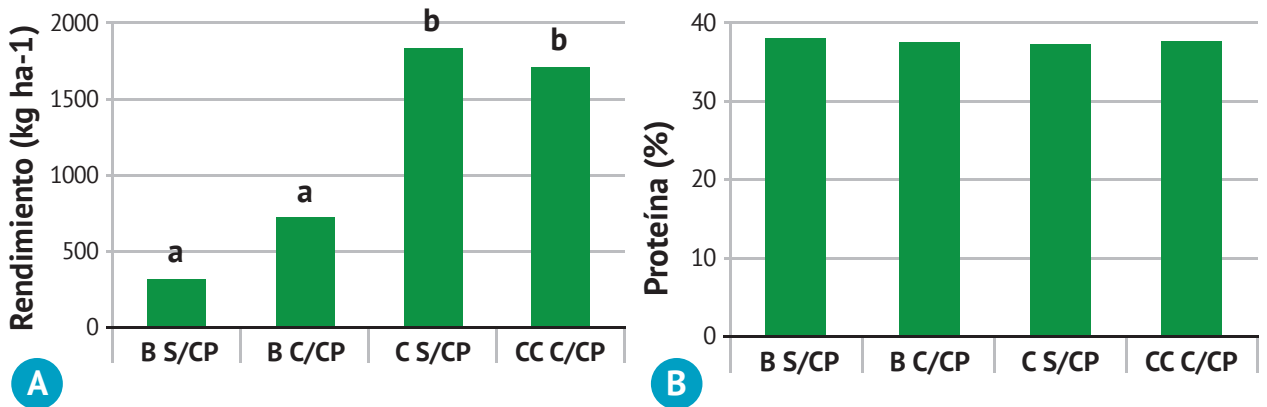


Figura 5. A. Rendimiento de Soja no OGM, B. % de proteína en soja para los diferentes tratamientos evaluados. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

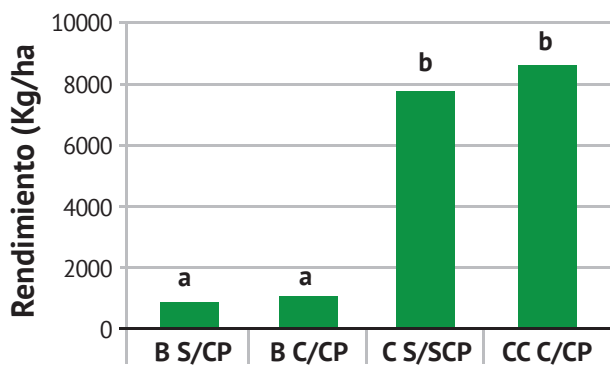


Figura 6. Rendimiento de Maíz colorado ACA 530. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).



Foto 5. Comparación de espigas de maíz producidas en plantas cultivadas sobre barbecho (izq.) vs sobre Vicia villosa (der.)

nales conservacionistas podría representar una alternativa más competitiva para ampliar la adopción del sistema orgánico en regiones históricamente agrícolas.

En este capítulo hemos presentado resultados de nuestras primeras experiencias empleando cultivos de cobertura y enmiendas para la producción orgánica de soja y maíz en siembra directa. Geográficamente, el área de estudio tiene una gran presión productiva ya que está inmersa en una región altamente competitiva a nivel nacional e internacional en cuanto a su aptitud agrícola. De allí que nuestra meta no sólo es lograr producir, sino que además, hacerlo en niveles comparables con los lotes vecinos y mejorar la calidad del ambiente.

La inclusión de cultivos de cobertura invernales en conjunto con alternativas de secado mecánico proporcionó una serie de beneficios muy valora- bles. En primer lugar, la supresión de malezas fue exitosa sin el uso de herbicidas. La densidad de malezas durante el ciclo de los cultivos de grano fue lo suficientemente baja como para no generar riesgos ni mermas de la cosecha. Además, el aporte de nutrientes brindado por el cultivo de cobertura favoreció el buen establecimiento de soja y maíz por su impacto directo en la fertilidad del suelo. Observamos que la presencia de raíces vivas duran-

te los meses de invierno incrementó el contenido de biomasa microbiana, lo cual a largo plazo redundará en beneficios derivados de la acumulación de carbono orgánico y en los procesos mediados por los microorganismos del suelo.

Un aspecto que merece profundizar nuestras investigaciones es el uso de compost como enmienda orgánica para el aporte de nutrientes. Los resultados que obtuvimos hasta el momento no dejan una clara conclusión acerca de sus beneficios en términos productivos ni ambientales. En este sentido, la ausencia en la respuesta del rendimiento así como en los parámetros de suelo evaluados, dejan una línea de trabajo abierta que seguiremos estudiando. La acumulación de desechos de sistemas ganaderos intensivos es una problemática que amerita una solución a corto plazo para evitar problemas de contaminación y enmendar las necesidades de nutrientes de los cultivos.

Hasta el momento, esta experiencia nos ha dejado muchas enseñanzas que surgieron en el intento de adaptar diferentes tecnologías en un solo sistema. Esto no hubiera sido posible sin la perseverancia, la convicción, el compromiso y el trabajo en equipo de todos los que participamos en este desafío. Luego de estos años, podemos decir que, a pesar de las dificultades, es posible lograr una producción rentable sin el uso de insumos de síntesis química. Seguiremos estudiando, trabajando y difundiendo resultados para que el compromiso de la producción sustentable se multiplique cada día más.

Bibliografía

- Adeli, A., Tewolde, H., Jenkins, J.N., Rowe, D.E., 2011. Cover crop use for managing broiler litter applied in the fall. *Agronomy Journal* 103, 200–210.
- Alef, K., Nannipieri, P., 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press,.
- Alvarenga, P., Mourinha, C., Farto, M., Santos, T., Palma, P., Sengo, J., Morais, M.-C., Cunha-Queda, C., 2015. Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Management* 40, 44–52.
- Anderson, T.-H., 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98, 285–293.
- Araujo, A.S.F., Miranda, A.R.L., Oliveira, M.L.J., Santos, V.M., Nunes, L.A.P.L., Melo, W.J., 2015. Soil microbial properties after 5 years of consecutive amendment with composted tannery sludge. *Environmental Monitoring and Assessment* 187, 4153.
- Baigorria Tomas, Belluccini Pablo, Cazorla Cristian, Aimetta Bethania, Ortiz Jimena, Pegoraro Vanesa, Boccolini Monica, Faggioli Valeria. 2018. Cultivos de cobertura: una estrategia con potencial para disminuir el impacto ambiental de herbicidas. Informe de actualización técnica de maíz. EEA Marcos Juárez. no. 26 (Julio 2018).
- Baigorria, T & C Cazorla. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACs. Rosario 2010. Baigorria, T; DT Gomez; CR Cazorla; AV Lardone; M Bojanich ; B Aimetta & A Canale. 2011. Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz. Informe de actualización técnica de maíz. EEA Marcos Juárez. no. 19 (jun. 2011).

- Baigorria, T; DT Gomez; CR Cazorla; AV Lardone; M Bojanich ; B Aimetta & A Canale. 2011. Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz. Informe de actualización técnica de maíz. EEA Marcos Juárez. no. 19 (jun. 2011).
- Bastida, F., Kandeler, E., Moreno, J.L., Ros, M., García, C., Hernández, T., 2008. Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. *Applied Soil Ecology* 40, 318–329.
- Bardgett, R.D., Van Der Putten, W.H., 2014. Below-ground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature* 515, 505–511.
- Bender, S.F., Wagg, C., van der Heijden, M.G.A., 2016. An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. *Trends in Ecology and Evolution* 31, 440–452.
- Bertolla, AM; T Baigorria; DT Gómez; CR Cazorla; M Cagliero; A Lardone; M Bojanich & B Aimetta. 2012. Efecto de la fertilización sobre la eficiencia del uso del agua de especies invernales utilizadas como cultivos de cobertura. En: C Alvarez; A Quiroga; S Diego & M Bodrero (Eds). Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción. 1a Ed. Pp. 138 – 147. La Pampa, Ediciones INTA.
- BOE (2013). Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. Boletín Oficial del Estado. Disponible en: www.boe.es/diario_boe/txt.php.
- Capurro, J; MJ Dickie; D Ninfi; A Zazzarini; E Tosi & MC Gonzalez. 2012. Gramíneas y leguminosas como cultivos de cobertura para soja. EEA INTA Oliveros. Para mejorar la producción, no. 47 (julio 2012).
- Davis, A.S., 2010. Cover-crop roller-crimper contributes to weed management in no-till soybean. *Weed Science* 58, 300–309.
- Decourtye, A., Mader, E., Desneux, N., 2010. Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie* 41, 264–277.
- García-Gil, J.C., Plaza, C., Soler-Rovira, P., Polo, A., 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 1907–1913.
- Gliessman, S. R. (1990). Quantifying the agroecological component of sustainable agriculture: a goal. In *Agroecology* (pp. 366-370). Springer, New York, NY.
- Häni, H., Siegenthaler, A., Candinas, T., 1996. Soil effects due to sewage sludge application in agriculture, in: *Fertilizers and Environment*. Springer, pp. 267–274.
- Hayden, Z.D., Brainard, D.C., Henshaw, B., Ngouajio, M., 2012. Winter annual weed suppression in rye–vetch cover crop mixtures. *Weed Technology* 26, 818–825.
- Hue, N. V, Ranjith, S.A., 1994. Sewage sludges in Hawaii: Chemical composition and reactions with soils and plants. *Water, Air, and Soil Pollution* 72, 265–283.
- INTA, 1978. Carta de Suelos de la Republica Argentina. Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria - Argentina Hoja 3363.
- Kandeler, E., Tschirko, D., Bruce, K.D., Stemmer, M., Hobbs, P.J., Bardgett, R.D., Amelung, W., 2000. Structure and function of the soil microbial community in microhabitats of a heavy metal polluted soil. *Biology and Fertility of Soils* 32, 390–400.

- Koutroubas, S.D., Antoniadis, V., Fotiadis, S., Damalas, C.A., 2014. Growth, grain yield and nitrogen use efficiency of Mediterranean wheat in soils amended with municipal sewage sludge. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 100, 227–243.
- Marschner, P., Kandeler, E., Marschner, B., 2003. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 453–461.
- Marx, M.-C., Wood, M., Jarvis, S.C., 2001. A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 1633–1640.
- Mirsky, S.B., Curran, W.S., Mortensen, D.M., Ryany, M.R., Shumway, D.L., 2011. Timing of cover-crop management effects on weed suppression in no-till planted soybean using a roller-crimper. *Weed Science* 59, 380–389.
- Mirsky, S.B., Ryan, M.R., Curran, W.S., Teasdale, J.R., Maul, J., Spargo, J.T., Moyer, J., Grantham, A.M., Weber, D., Way, T.R., 2012. Conservation tillage issues: Cover crop-based organic rotational no-till grain production in the mid-Atlantic region, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27, 31–40.
- Mirsky, S.B., Ryan, M.R., Teasdale, J.R., Curran, W.S., Reberg-Horton, C.S., Spargo, J.T., Wells, M.S., Keene, C.L., Moyer, J.W., 2013. Overcoming weed management challenges in cover crop-based organic rotational no-till soybean production in the Eastern United States. *Weed Technology* 27, 193–203.
- Mischler, R.A., Curran, W.S., Duiker, S.W., Hyde, J.A., 2010. Use of a rolled-rye cover crop for weed suppression in no-till soybeans. *Weed Technology* 24, 253–261.
- Mohler, C.L., Te Asdale, J.R., 1993. Response of weed emergence to rate of *Vicia villosa* Roth and *Secale cereale* L. residue. *Weed Research* 33, 487–499.
- Ordentlich, A., Elad, Y., Chet, I. (1988). The role of chitinase of *Serratia marcescens* in biocontrol of *Sclerotium rolfsii*. *Phytopathology*, 78(1), 84–88.
- Ortiz, J; Faggioli VS; Ulle JA. 2015. Salud del suelo: en búsqueda de un indicador de sustentabilidad. V Congreso Latino-Americano de Agroecología. 07-09 Octubre 2015, La Plata, Argentina.
- Parat, C., Denaix, L., Lévêque, J., Chaussod, R., Andreux, F., 2007. The organic carbon derived from sewage sludge as a key parameter determining the fate of trace metals. *Chemosphere* 69, 636–643.
- Poffenbarger, H.J., Mirsky, S.B., Weil, R.R., Maul, J.E., Kramer, M., Spargo, J.T., Cavigelli, M.A., 2015. Biomass and nitrogen content of hairy vetch–cereal rye cover crop mixtures as influenced by species proportions. *Agronomy Journal* 107, 2069–2082.
- Qi, Z., Helmers, M.J., 2010. Soil water dynamics under winter rye cover crop in central Iowa. *Vadose Zone Journal* 9, 53–60.
- Reddy, K.N., Zablotowicz, R.M., Locke, M.A., Koger, C.H., 2003. Cover crop, tillage, and herbicide effects on weeds, soil properties, microbial populations, and soybean yield. *Weed Science* 51, 987–994.
- Rillo, S; A Álvarez; R Bagnato & E Noellemeyer. 2012 Cultivos de cobertura: gramíneas y leguminosas en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires. En: C Alvarez; A Quiroga; S Diego & M Bodrero (Eds). Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción. 1a Ed. Pp. 58 – 68. La Pampa, Ediciones INTA.

- Roig, N., Sierra, J., Martí, E., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L., 2012. Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: effects on soil functioning. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 158, 41–48.
- Saison, C., Degrange, V., Oliver, R., Millard, P., Commaux, C., Montange, D., Le Roux, X., 2006. Alteration and resilience of the soil microbial community following compost amendment: effects of compost level and compost-borne microbial community. *Environmental Microbiology* 8, 247–257.
- Serri, D.L., Faggioli, V.S., Lorenzon, C.A., 2017. Fósforo del suelo: calidad del rastrojo y descomposición microbiana bajo diferentes contenidos hídricos. *Ciencia Del Suelo* 35, 239–248.
- SENASA, 2011. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agropecuaria. Resolución 264/2011. Argentina. Disponible en: www.senasa.gob.ar/sites/default/files/ARBOL_SENASA/.../rs_2011_0264.doc
- Shapira, R., Ordentlich, A., Chet, I., Oppenheim, A. B. 1989. Control of plant diseases by chitinase expressed from cloned DNA in *Escherichia coli*. *Phytopathology*, 79(11), 1246-1249.
- Sharma, B., Sarkar, A., Singh, P., Singh, R.P., 2017. Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Manag* 64, 117–132.
- Sloan, J.J., Ampim, P.A.Y., Boerth, T., Heitholt, J.J., Wu, Y., 2016. Improving the Physical and Chemical Properties of a Disturbed Soil Using Drying-bed Biosolids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 47, 1451–1464.
- Snapp, S.S., Swinton, S.M., Labarta, R., Mutch, D., Black, J.R., Leep, R., Nyiraneza, J., O'neil, K., 2005. Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. *Agronomy Journal* 97, 322–332.
- Tarafdar, J.C., Jungk, A., 1987. Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. *Biology and Fertility of Soils* 3, 199–204.
- Torri, S.I., Corrêa, R.S., Renella, G., 2014. Soil carbon sequestration resulting from biosolids application. *Applied and Environmental Soil Science* 2014.
- Treonis, A.M., Austin, E.E., Buyer, J.S., Maul, J.E., Spicer, L., Zasada, I.A., 2010. Effects of organic amendment and tillage on soil microorganisms and microfauna. *Applied Soil Ecology* 46, 103–110.
- Triplett, G.B., Dick, W.A., 2008. No-tillage crop production: A revolution in agriculture! *Agronomy Journal* 100, S-153.
- Vaish, B., Sarkar, A., Singh, P., Singh, P.K., Sengupta, C., Singh, R.P., 2016. Prospects of biomethanation in Indian urban solid waste: stepping towards a sustainable future, in: *Recycling of Solid Waste for Biofuels and Bio-Chemicals*. Springer, pp. 1–29.
- Vanzolini, J.I.; Galantini & R Agamennoni. 2012. Cultivos de cobertura de *Vicia villosa* Roth. En el valle bonaerense del Río Colorado. En: C Alvarez; A Quiroga; S Diego & M Bodrero (Eds). *Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción*. 1a Ed. Pp. 21 – 28. La Pampa, Ediciones INTA.
- Ward, M.J., Ryan, M.R., Curran, W.S., Barbercheck, M.E., Mortensen, D.A., 2011. Cover crops and disturbance influence activity-density of weed seed predators *Amara aenea* and *Harpalus pensylvanicus* (Coleoptera: Carabidae). *Weed Science* 59, 76–81.
- Weber, J.F., Kunz, C., Peteinatos, G.G., Zikeli, S., Gerhards, R., 2017. Weed control using conventional tillage, reduced tillage, no-tillage, and cover crops in organic soybean. *Agriculture* 7, 43.

CAPÍTULO 5

LA TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL SUELO: REFLEXIONES DESDE LA ECOLOGÍA MICROBIANA



Laura Cecilia
De Luca¹



Ana Ernestina
Salazar Martínez²



Raúl Alberto
Pérez³

1. Centro de Capacitación Integral para la Familia Rural CECAIN – INTA. Ruta 74 km 90,5
2. División Entomología. Museo de La Plata. FCNyM. UNLP. Diagonal del Bosque S/N
3. Instituto de Investigación para la Agricultura Familiar Región Pampeana (IPAF) INTA. Calle Santa Rosa S/N. Villa Elisa

Correo electrónico: deluca.laura@inta.gob.ar

Resumen

Los estudios comparativos acerca de la biodiversidad edáfica y sus interacciones fueron dejados de lado, básicamente, debido a la dificultad para abordar la biodiversidad como un todo, dadas las dispares escalas de medición de sus componentes. Sin embargo sabemos que la biota edáfica interviene y participa ampliamente en los servicios ambientales que brinda el suelo: el ciclado de nutrientes, la fijación de nitrógeno, la regulación de la dinámica de la materia orgánica del suelo, la captura de carbono y la reducción de emisiones de CO_2 , N_2O , CH_4 . Estos procesos son realizados principalmente por el grupo funcional de los ingenieros químicos del ecosistema, es decir, las bacterias, hongos, protozoarios y los reguladores biológicos como los ácaros, colémbolos y nematodos. De manera global, esta biodiversidad le da estabilidad al agroecosistema, fomenta el control de plagas, la producción de las plantas y de los animales. Estas interacciones fueron observadas y monitoreadas sobre una parcela agrícola – ganadera en transición agroecológica del sudeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, durante los años 2011 al 2014, donde se buscó detectar si los cambios que se estaban implementando en el manejo productivo sobre la superficie, en un lote en transición agroecológica, causaban algún impacto medible a nivel de ensamblajes “transformadores de hojarasca” y “transformadores de nutrientes”. Los cambios productivos que se realizaron fueron tanto en cuanto a la disminución drástica de insumos químicos (principalmente herbicidas) como al aumento de biodiversidad cultivada y asociada.

Palabras clave: biota edáfica – grupos funcionales de suelo en transición agroecológica – ensamblajes microbianos en sistemas extensivos – mesofauna – biodiversidad edáfica –

Abstract

Comparative studies on soil biodiversity and their interactions were left aside, basically, due to the difficulty in approaching biodiversity as a whole, given the disparate scales of measurement of its components. However, we know that soil biota intervenes and participates extensively in the environmental services provided by the soil: the cycling of nutrients, the fixation of nitrogen, the regulation of the dynamics of soil organic matter, the capture of carbon and the reduction of CO_2 , N_2O , CH_4 emissions. These processes are carried out mainly by the functional group of the chemical engineers of the ecosystem, that is, bacteria, fungi and protozoa and biological regulators such as mites, collembola and nematodes. In a global way, this biodiversity gives stability to the agroecosystem, promotes the control of pests and the production of plants and animals. These interactions were observed and monitored on an agro - livestock plot in the agroecological transition of the southeast of the Province of Buenos Aires, Argentina, during the years 2011 to 2014, where it was sought to detect if the changes that were being implemented in the productive management on the surface area, in a plot under agroecological transition, caused some measurable impact at the level of “Litter Transformer” and “nutrient transformer” assemblages. The productive changes that were made were both in terms of the drastic reduction of chemical inputs (mainly herbicides) and the increase in cultivated and associated biodiversity.

Keywords: edaphic biota, soil functional groups in an agroecological transition, microbial assemblages in extensive systems, mesofauna, edaphic biodiversity

1. Introducción

La creciente preponderancia de la agricultura en la producción agropecuaria extensiva argentina, ha tenido consecuencias a nivel regional y global. Esta expansión agrícola es un caso particular de los frecuentes cambios producidos en el uso del suelo, o en el tipo de aprovechamiento que realizamos sobre los ecosistemas terrestres (Paruelo et al, 2005). La intensificación agrícola influye sobre el clima, los ciclos del agua, el carbono y el nitrógeno en la biosfera, las emisiones de gases causantes del efecto invernadero y la biodiversidad.

Al mismo tiempo, la pérdida de fertilidad resultante de la intensificación, busca ser reparada a través de una mayor aplicación de paquetes tecnológicos, y por ende una mayor reducción de la biodiversidad del suelo. Este círculo vicioso engendra un problema cuya solución implica un gran reto: ¿es posible, en un agroecosistema productivo, manejar la biodiversidad del suelo para poder incrementar la productividad agrícola en regiones que están siendo degradadas?

El proyecto CIAC 940136 “Fortalecimiento de los ciclos biológicos para reducir el uso de agroquímicos en sistemas extensivos” intentó abordar esta cuestión, apostando a la biodiversidad (funcional y estructural) como estrategia para resolver esta aparente disyuntiva.

Con anclaje en un territorio fuertemente intervenido desde las prácticas agrícolas (Fig. 1), tomada de “Informe de la Defensoría del Pueblo, 2014), el área de muestreo se establece en la Estación Experimental Agropecuaria Integrada de Barrow, en el Partido de Tres Arroyos, en un lote productivo mixto, agrícola-ganadero desde hace más de 50 años.

La mayor parte de la agricultura de esta región

se sustenta en cultivos extensivos tradicionales como trigo, cebada, soja, girasol y maíz que se desarrollan en ambientes con diferentes potencialidades edafoclimáticas (CIAC 940136, 2014). En los

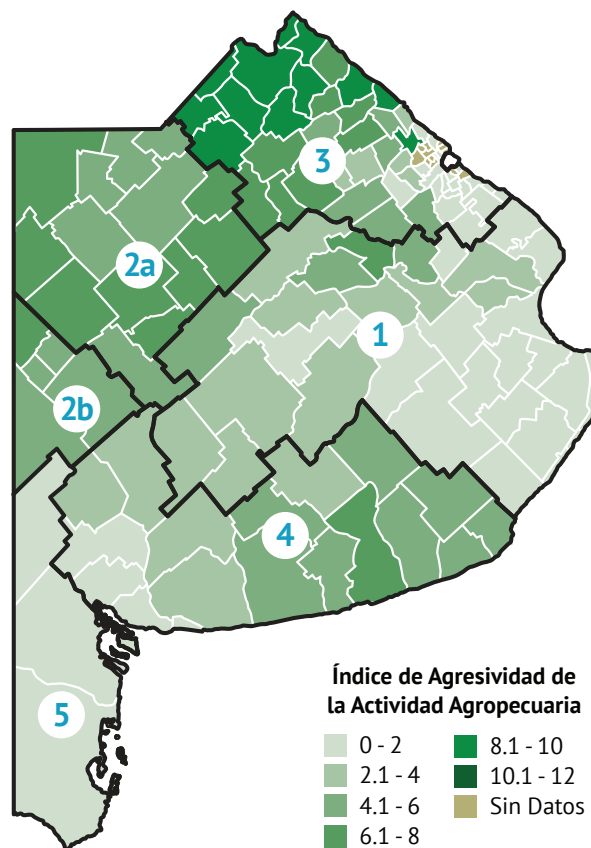


Figura 1: Índice de agresividad de la actividad agropecuaria.

Fuente: Informe del Defensor del Pueblo de la Pcia de Buenos Aires. Relevamiento de la utilización de agroquímicos en la provincia de Buenos Aires. Nov. 2014

últimos años, la conciencia creciente sobre el impacto de la agricultura moderna, ha dado origen a replanteos. Un enfoque holístico de los agroecosistemas conduciría a un mayor conocimiento de la sustentabilidad, mejorando la evaluación y manejo de los sistemas. La Agroecología se presenta como una alternativa que provee herramientas y marcos conceptuales diferentes a los propuestos actualmente para el diagnóstico de los agroecosistemas. Desde esta concepción se integran los procesos geológicos, físico-químicos y biológicos a través de flujo de energía, ciclos del agua y de los nutrientes, el aumento de eficiencia en la utilización de los recursos localmente disponibles y el fortalecimiento de los ciclos internos de cada sistema que contribuirían a restablecer la “salud” o “bienestar” del sistema edáfico minimizando los costos de utilización del paquete tecnológico (De Luca et al., 2015).

Al realizar una evaluación biológica de la salud de los suelos, no resulta ni práctico ni coherente tomar en cuenta todos los organismos presentes, (Lawton et al., 1998), la biota deberá ser evaluada por su contribución relativa a los procesos del ecosistema y por su influencia directa con la salud del suelo (Bautista Cruz, et al. 2004). Dado que la identificación individual de los organismos del suelo, no resulta apropiada ni siquiera posible en algunos casos, este trabajo se centra en la determinación de **grupos funcionales** de suelo, de acuerdo a procesos estructurantes considerados claves por diferentes investigadores (Kibblewhite et al., 2008; Hernández Flores et al, 2013), los cuales integrarán **ensambles funcionales**, a saber:

I - Descomponedores de materia orgánica o transformadores de hojarasca: proceso que ocurre principalmente por actividad enzimática de bacterias y hongos, junto con meso y macro fauna como ácaros, milpiés, lombrices de tierra y termitas, los cuales trituran los residuos de plantas y animales, y dispersan los propágulos microbianos. Juntos, los microorganismos y la fauna involucrada se llaman “descomponedores”, aunque el atributo “transformadores de hojarasca” es el más utilizado hoy en

día para describirlos (Swift et al., 2012). Como resultado de la descomposición, el carbono orgánico es liberado en la atmósfera, principalmente como CO_2 o CH_4 , pero también es incorporado en diferentes reservorios en forma de materia orgánica (MOS), la cual es variable en su estabilidad y longevidad, aunque en un tipo de suelo y ambiente determinados existe un equilibrio entre el contenido del MOS, las entradas y salidas de carbono en el sistema y la actividad microbiana (Anderson, 2003).

II.- Transformadores de nutrientes: estrechamente asociado con la descomposición orgánica. Aquí también los microorganismos son mediadores de la mayor parte de las transformaciones; sin embargo, el proceso se determina mediante la acción de micropredadores, tales como colémbolos y ácaros. Animales más grandes mejoran algunos procesos porque proveen nichos para un crecimiento microbiano dentro de sus intestinos o excremento. Microorganismos específicos del suelo también incrementan la cantidad y eficiencia de absorción de nutrientes por la vegetación, mediante la formación de asociaciones simbióticas como las micorrizas y la fijación de N_2 en nódulos de raíces. El ciclo de nutrientes, por la biota del suelo, es esencial para todo tipo de agricultura, sin embargo, estos grupos son afectados indirectamente por factores como el contenido de agua, estabilidad del suelo, porosidad y contenido de carbono, lo que controla el primer ensamble mencionado en este apartado.

III Bioturbadores: Las raíces de plantas con sus diferentes arquitecturas, lombrices de tierra, termitas, hormigas y algunos otros individuos de la macrofauna del suelo, se mantienen físicamente activos dentro del suelo formando canales, poros, agregados y montículos, y moviendo partículas de un horizonte a otro. Estos procesos de “bioturbación” influyen y determinan la estructura física del suelo y la distribución de materia orgánica del suelo. Así, crean y modifican micro hábitats para otros organismos más pequeños y determinan propiedades del suelo como aireación, drenaje, estabilidad

de agregados y capacidad de retención de agua. A este conjunto de organismos, por lo tanto, se le ha denominado “ingenieros del ecosistema del suelo” (Lavelle et al., 2006).

Metodología de estudio de la biodiversidad bajo suelo: acuerdos generales para el enfoque holístico

No existe aún una metodología que permita la identificación de todas las especies en el suelo, ni siquiera centrándonos en un momento o proceso en particular. Dado que en muchos *Fila*, la mayoría de las especies aún son desconocidas, los estudios de ADN solo consiguen, en parte, explorar y dimensionar este universo. En la biota del suelo, el concepto de especies también es muy variable; por ejemplo, entre bacterias, hongos e invertebrados. Los estudios acerca de la diversidad microbiana (micro-diversidad) fueron relegado a lo largo del tiempo debido a dificultades importantes para la determinación taxonómica microbiana: a) la escasez de variabilidad morfológica; b) las variadas necesidades nutricionales; c) la enorme cantidad de microorganismos; y d) las limitaciones para el aislamiento y cultivo, lo que limita el análisis a nivel de ecosistema. (Abril et al, 2013).

En el diseño de trabajos a campo, uno de los principales desafíos resulta en seleccionar un subgrupo de la biota del suelo que incluya la mayor parte de los grupos funcionales considerados como importantes; la “importancia funcional” de cualquier especie o de grupos de especies, probablemente se relaciona con su abundancia relativa y con la biomasa; no obstante, también es importante buscar dentro de los grupos funcionales para descubrir los taxa que alcancen el criterio de ser considerados como especies clave (Davic, 2003) o grupo funcional relevante (Frioni, 2011). Los métodos empleados para la extracción de diferentes grupos de organismos del suelo también son muy diferentes de un grupo a otro. Estos factores, aunados a la inmensa escala de diversidad encontrada

en el suelo, requieren de un enfoque sistémico, utilizando el concepto de **grupo funcional clave**, de los cuales se espera que aquellos que estén integrados por pocas especies y/o especies altamente especializadas, sean los más vulnerables ante las situaciones de perturbación que se pretende visualizar en el caso de estudio. (Moreira et al, 2012).

Otra variable a considerar es que los procesos de disturbio o recuperación que quieren visualizarse, indirectamente, mediante el efecto que producen en la biodiversidad edáfica, también se manifiesten en diferentes escalas espaciales y temporales (por ejemplo, los nitrificadores utilizan una fuente de carbono inorgánico (CO_2), y una fuente de nitrógeno y energía que surge de transformar el NO_2 en NO_3 , fuente nitrogenada esencial para el accionar de la celulólisis, que libera CO_2 y otros productos intermedios; ambos procesos están interrelacionados aunque temporalmente pueden no ser simultáneos).

En el caso particular en estudio, la escala temporal se desarrolló entre los años 2011 al 2014, donde se buscó detectar si los cambios que se estaban implementando en el manejo productivo sobre la superficie, en un lote en transición agroecológica, causaban algún impacto medible a nivel de ensamblajes “transformadores de hojarasca” y “transformadores de nutrientes”. Los cambios productivos que se realizaron fueron tanto en cuanto a la disminución drástica de insumos químicos (principalmente herbicidas) como al aumento de biodiversidad cultivada y asociada (Altieri & Nichols, 2007; Carrasco et al., 2015)

Se comenzó el estudio con cuatro grupos funcionales microbianos básicos, de acuerdo a la metodología propuesta por Frioni (1999): **Celulolíticos** pertenecientes al ensamblaje transformadores de hojarasca, con funciones en transformación de carbono orgánico, ciclado de nutrientes, mantenimiento de estructura de suelo, regulación de la población biológica; los grupos funcionales **nitrificadores** y los **nitrificadores**, pertenecientes al ensamblaje funcional ciclado de nutrientes, con funciones en mantenimiento de la estructura de suelo y regulación de la población biológica. Los **fijadores libres**

de N, pertenecientes al ensamblaje “transformadores de nutrientes”, con funciones en mantenimiento de estructura de suelo y transformación del nitrógeno atmosférico en nitrógeno orgánico.

Con posterioridad al tercer muestreo, se incorporó a los **actinomicetos** de vida libre ya que intervienen en la fijación biológica de nitrógeno y en el ciclado de celulosa y lignina, además de inhibir el crecimiento bacteriano gracias a la producción de antibióticos. Pertenecen al ensamblaje “transformadores de nutrientes” y “degradadores de hojarasca”, además de mostrar una interesante sensibilidad a la aplicación de agroquímicos, motivo por el cual se decidió su incorporación al estudio, de acuerdo a la metodología empleada por Chaves-Bedoya, G. et al., (2013). Se determinaron también “**grupos clave de mesofauna**”, los cuales se encuentran en todo tipo de suelo y su abundancia y composición específica presentan variaciones en relación con el ambiente que ocupan (Behan-Pelletier, 1999). Los ácaros oribátidos (Arachnida) y los colémbolos (Hexapoda) fueron los grupos seleccionados por ser los que mostraron cierta tendencia a contribuir con los ensamblajes “micro-mesofauna” en otros trabajos realizados por los autores (Salazar Martínez y De Luca 2015); a su vez son representantes de los ensamblajes “cicladores de nutrientes” y “degradadores de la materia orgánica”. La mesofauna fue extraída de las muestras de suelo con embudos de Berlese durante 10 días y determinada bajo lupa.

Los ensamblajes propuestos, sus funciones y beneficios que aportan al agroecosistema, pueden visualizarse en la **Tabla 1** adaptada en base a este trabajo, de la propuesta por Kibblewhite et al. (2008).

Dada la escala temporal de cuatro años (2011-2014) considerada para este trabajo, se analiza la información de acuerdo a ciclos estacionales otoño – invierno – primavera (OIP); primavera-verano-otoño (PVO) para los dos sectores bajo estudio pertenecientes a la Chacra Integrada Barrow Ministerio de Asuntos Agrarios MAA– INTA. Ambos lotes, con idéntica historia productiva, comenzaron a ser manejados bajo dos concepciones productivas contrastantes: agroecológico (AE) y convencional o ac-

tual (CONV). Los muestreos de suelo (m) fueron realizados durante 4 años consecutivos, agrupándose en m1, m2 y m3 los que corresponden al primer ciclo estacional PVO, m4, m5 y m6 al ciclo estacional OIP, mientras que los muestreos m7, m8 y m9, al último ciclo estacional PVO considerado en este análisis, que puede visualizarse en la **Tabla 2**, junto con la información del estado hídrico y aumento de las temperaturas medias históricas.

Los muestreos de suelo se realizaron sobre transectas equidistantes a 8 m, con barreno de 10 cm de profundidad, de acuerdo a puntos fijos que se mantuvieron a lo largo del estudio, como puede observarse en la **Fig.2**.

El ambiente edáfico: lo que sucede en la superficie, y debajo de ella

En los primeros análisis realizados, los resultados no parecían ser auspiciosos: los cambios propuestos en el manejo del lote en transición, no se reflejaban en el subsistema edáfico, al menos, cuando considerábamos los resultados en una escala de tiempo limitada al año. Sin embargo, el análisis de componentes principales (ACP) donde se interrelaciona la información por ciclos estacionales (PVO u OIP), nos muestra cómo el sector en transición agroecológica posee y mantiene la presencia de ensamblajes similares a los propuestos en la **Tabla 2** como “transformadores de hojarasca” (**Fig.3**), mientras que en el sector convencional no se visualiza este hecho; sí en cambio podemos visualizar un pequeño y simplificado ensamblaje de nitrificadores y nitrificadores, cuya presencia podría estar determinada por la fertilización nitrogenada incorporada (**Fig.4**). Puede apreciarse en las **Fig 5 y 6**, correspondiente al ciclo OIP para los lotes en comparación AE y CONV, respectivamente, se mantiene presente el ensamblaje de “transformadores de hojarasca”, agregándose otro de “transformadores de nutrientes”, mientras que en el sector convencional podría considerarse la formación “incipiente” de dos ensamblajes, con escasos componentes. Cabe considerar que

continuando con el análisis de los ensamblajes, para el tercer y el último ciclo estacional, PVO, correspondiente a las tomas de muestra m7, m8 y m9, los ensamblajes mantienen su estructura y diversidad en el sector AE (**Fig.7**) mientras que parece consolidarse un ensamblaje en el sector convencional casi a finales del estudio, en el m8 (**Fig.8**).

Como mencionamos al inicio de este apartado, con una importante historia de laboreos con-

tinuos, el lote bajo observación parecía resultar poco sensible al momento de iniciar una transición hacia la agroecología, o al menos, si pretendíamos medir sus avances con los indicadores biológicos propuestos. *¿Fue equivocado el análisis por “ensamblajes de micro-meso fauna”? ¿Es inadecuada la escala de tiempo? ¿Ocurría algo particular con este sistema edafo-climático?* Comparando estos resultados con otros obtenidos en un monitoreo similar (en base

Tabla 1

Agroecosistema ofrece	Procesos basados en el suelo	Funciones del ecosistema edáfico	Ensamblaje funcional
Obtención de alimentos y fibra	Captura y ciclaje de nutrientes Descomposición de la MO adicionada Dinámica de la MOS Estructurar el suelo Regular las poblaciones edáficas	1 Transformaciones del C 2 Ciclaje de nutrientes	Descomponedores: Hongos Bacterias Microherbívoros Detritívoros Transformadores de nutrientes: Descomponedores Transformadores de elementos Fijadores de N2 Micorrizas
Oferta no agrícola	Procesos basados en el suelo		
Suministro de agua	Mantenimiento de la estructura del suelo Ciclaje de nutrientes		
Control de erosión	Mantenimiento de la estructura del suelo	3 Mantenimiento de estructura del suelo	Ingenieros del agroecosistema: Megafauna Macrofauna Hongos Bacterias
Regulación de la composición atmosférica y del clima	Dinámica de la MOS Descomposición de la MO adicionada		
Degradación de sustancias contaminantes	Descomposición Ciclaje de nutrientes	4 Regulación de la población biológica	Biocontroladores: Predadores Microherbívoros Hiperparásitos
Control de enfermedades y plagas	Regulación de población Efecto supresivo de suelo		
Reservorio de biodiversidad	Provisión de hábitat Regulación de población		

Tabla 2

Fechas de Toma de muestra, denominación de las mismas estado hídrico, situación del cultivo, en sector Agroecológico (AE) y convencional (CONV)

Ciclo	Fecha	Denominación del muestreo	Estado hídrico zonal	Situación del cultivo
P	Agosto 2011	m1	Falta de precipitaciones. Temperatura 3° C por encima de la media histórica	AE = Avena vicia en pastoreo CONV= barbecho químico de avena
	Noviembre 2011	m2	Falta de lluvias. Temperaturas medias coincidentes con media histórica	AE = Sorgo y Soja (como cultivo acompañante) CONV = Soja
O	Febrero 2012	m3	Sequía. Temperaturas 4 °C por encima de la media histórica	AE = Sorgo soja en pastoreo CONV= cultivo perdido por sequía
O	Mayo 2012	m4	Lluvias. Temperaturas 3° por arriba de la media histórica	AE = rastrojos de sorgo – soja CONV = barbecho químico de soja
I	Agosto 2012	m5	Inundaciones críticas. Temperatura 2° por encima de la media histórica	AE = Trigo multivarietal con Trebol Rojo CONV = trigo
P	Febrero 2012	m6	Buena cantidad de agua en el perfil. Temperaturas por 2°C por encima de la media histórica	AE= Rastrojo de trigo Siembra Avena Vicia CONV =soja de segunda
P	Agosto 2013	m7	Comienza período de déficit hídrico. Temperatura 1 °C por debajo de la media histórica	AE = Avena Vicia en pastoreo CONV = barbecho químico
	Noviembre 2013	m8	Acción desecante de vientos. Temperaturas 2°C por encima de la media histórica	AE = sorgo granífero/ trébol CONV = soja
O	Febrero 2014	m9	Lluvias abundantes. Temperaturas coincidentes con media histórica	AE = Maíz y sorgo Granífero CONV= soja

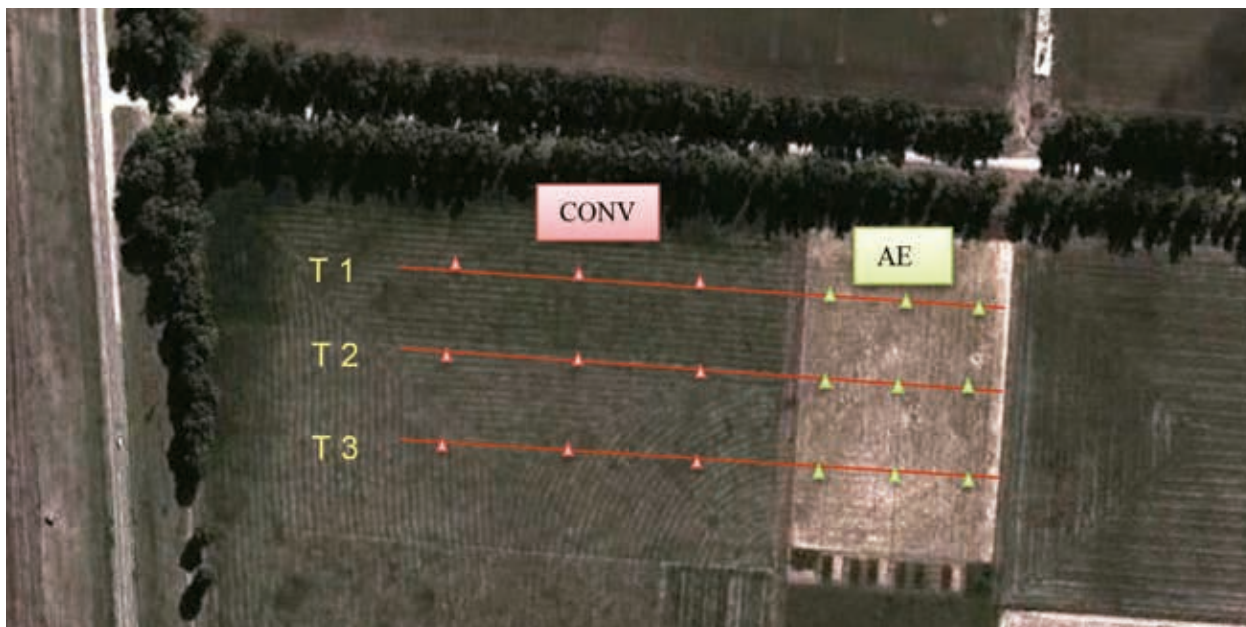


Figura 2: Módulo en transición agroecológica (AE) y sector convencional (CONV), transectas y puntos de toma de muestra utilizados a lo largo del estudio 2011-2014. Chacra Integrada Barrow MAA – INTA.

a ensambles de “micro-mesofauna”) realizado contemporáneamente sobre otro agroecosistema en transición, pero hacia el norte de la región pampeana; allí se encontró que los mismos ensambles “degradadores de hojarasca” y “transformadores de nutrientes” reflejaban rápidamente los cambios en las prácticas propuestas para la transición agroecológica. (Pérez et al, 2015). Surge la idea entonces de relacionar no solo los ensambles con las prácticas (agroecológica o convencional), sino también con las condiciones climáticas, como cantidad de precipitaciones en el ciclo climático analizado (dado que el lote no posee otro suministro de agua) y las temperaturas medias registradas. Parecería existir, para el sector AE del lote bajo estudio, una sensible estabilidad en cuanto a presencia y cantidad de integrantes, de los ensambles “transformadores de hojarasca” y “transformadores de nutrientes”, atributos que se mantienen a pesar de las cuestiones climáticas sucedidas en la zona, principalmente sequías y presencia de vientos desecantes en un suelo de escasa profundidad como el que corresponde al lote de este ensayo.

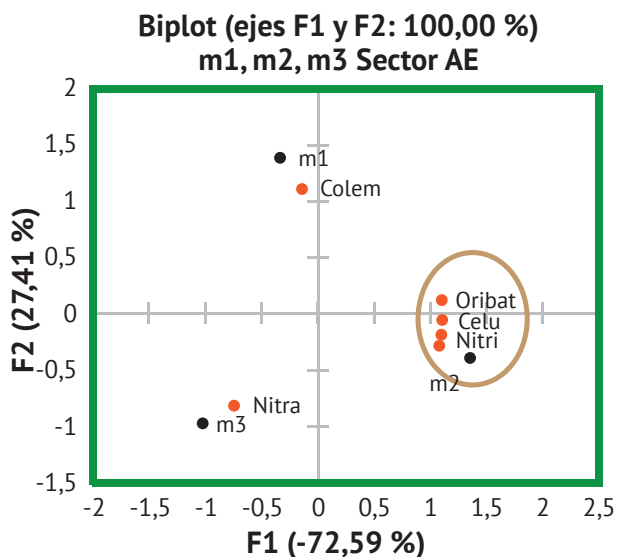


Figura 3: Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado sobre muestra completa 0 – 10 cm de profundidad para los muestreos m1, m2 y m3 en el sector AE. Se resalta el primer ensamble detectado

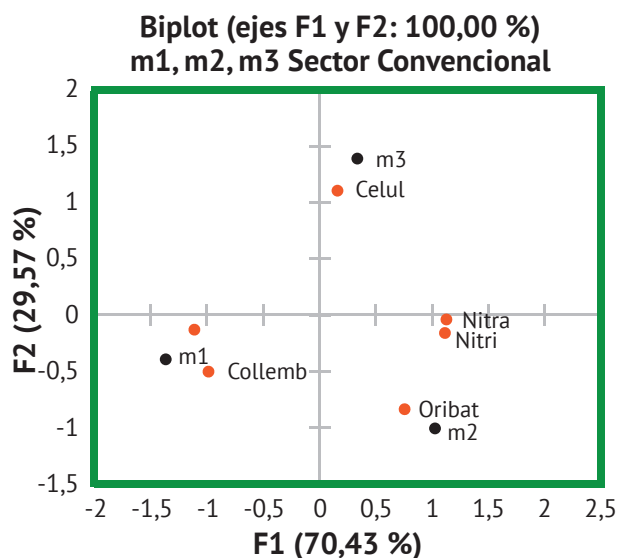


Figura 4: Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado sobre muestra completa 0 – 10 cm de profundidad para los muestreos m1, m2 y m3 en el sector CONV. No se resaltan ensambles

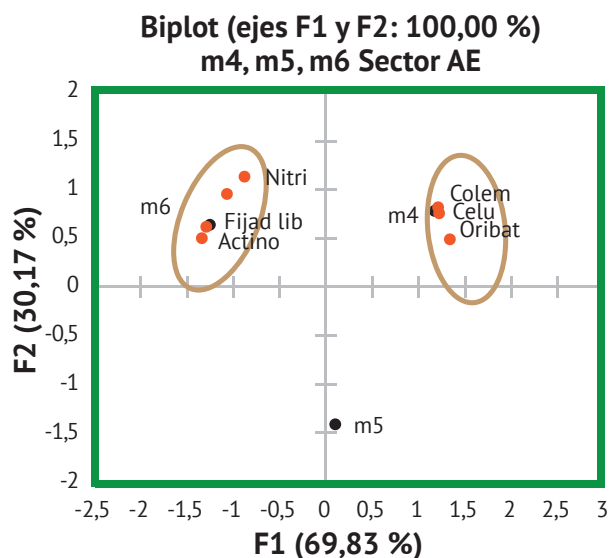


Figura 5: Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado sobre muestra completa 0 – 10 cm de profundidad para los muestreos m4, m5 y m6 en el sector AE. Se resaltan dos conjuntos o ensambles

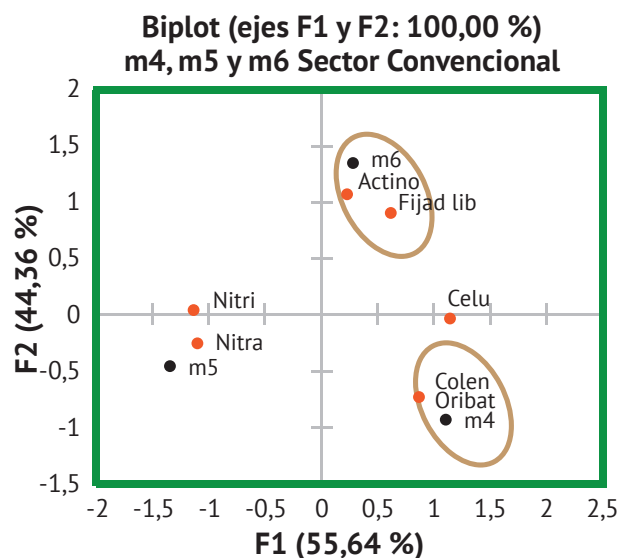


Figura 6: Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado sobre muestra completa 0 – 10 cm de profundidad para los muestreos m4, m5 y m6 en el sector CONV. Se resaltan dos conjuntos o ensambles incipientes

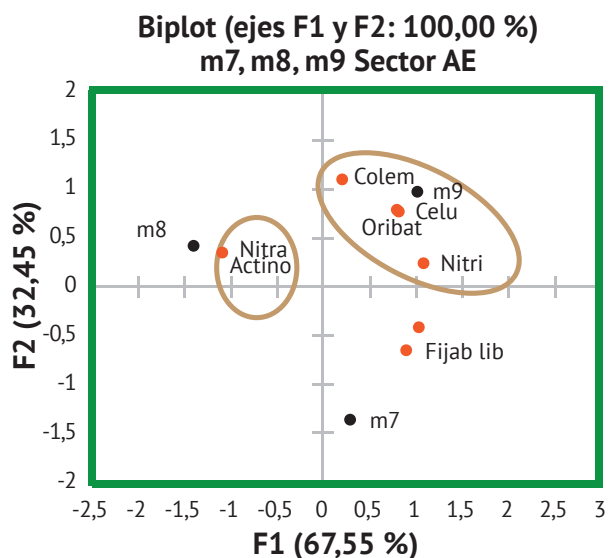


Figura 7: Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado sobre muestra completa 0 – 10 cm de profundidad para los muestreos m7, m8 y m9 en el sector AE. Se resaltan dos ensambles

Esto nos permite confirmar, en cierta medida que la propuesta de manejo agroecológico beneficia el mantenimiento de los ensamblajes bajo estudio a lo largo de los ciclos estacionales, a diferencia de lo que ocurre con el sector convencional. Cabe remarcar la importancia de mantener ensamblajes como el de “descomponedores de hojarasca” en un equilibrio activo y alcanzando una cierta independencia con respecto a las inclemencias climáticas. Uno de sus principales beneficios, de acuerdo a lo expresado en la Tabla 2, puede visualizarse también en el aumento de la porosidad producido en el lote agroecológico, medido con penetrómetro de campo y detectado incluso durante el primer ciclo estacional de análisis, durante el m3; como puede observarse en la Fig.9, la falta de porosidad se registra como un mayor esfuerzo medido en Kilo Pascales (KPa) en el penetrómetro. El sector agroecológico, contaba en ese momento con diferentes coberturas en diferentes estados de pastoreo,

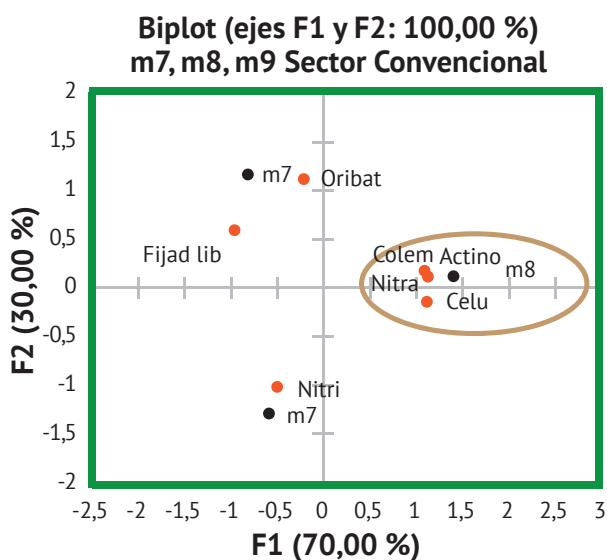


Figura 8: Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado sobre muestra completa 0 – 10 cm de profundidad para los muestreos m7, m8 y m9 en el sector CONV. Se resalta un ensamblaje

mientras que el lote convencional se encontraba con monocultivo de soja.

La inclusión de leguminosas en todos los ciclos (como cobertura o como acompañante), resultó una estrategia efectiva para comenzar a gestar un sistema independiente de químicos de síntesis, principalmente urea. Esta estrategia, tiene su efecto también sobre el ensamblaje “transformadores de nutrientes”, tanto para los grupos funcionales nitrificadores, y nitrificadores como para el de fijadores libres. Los nitrificadores y nitrificadores se ven estimulados por la presencia constante de nitrógeno orgánico aportado en los detritos de leguminosa, a diferencia de los que ocurre en el sector convencional, donde el ciclo del nitrógeno se simplifica con el

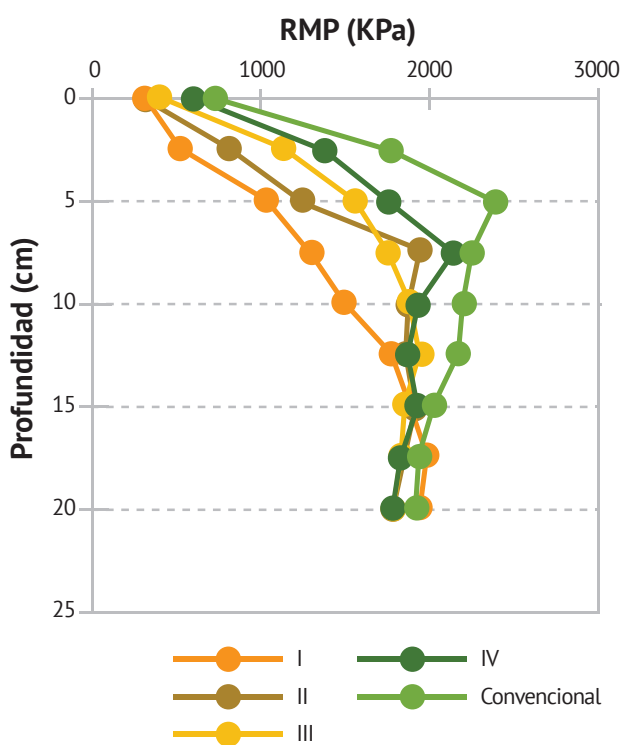


Figura 9: Gráfico elaborado por el Ing. Agr. Martín Zamora en base a los datos de penetrometría tomados a campo, siendo I, II, III y IV diferentes coberturas sobre el Módulo Agroecológico; y CONV situación sobre el monocultivo convencional.

agregado de fertilizantes de síntesis, minimizando la presencia de éstos y otros integrantes de este ciclo al existir la presencia directa de los productos finales (nitrito o nitrato) en la solución del suelo. Por otro lado, los fijadores libres de nitrógeno, si bien no requieren la presencia de una planta leguminosa para sobrevivir, se ven beneficiados igualmente por la presencia de productos exudados de las raíces de estas plantas, encontrando un medio energéticamente menos costoso para sobrevivir.

CONCLUSIONES

Quienes trabajamos en estrategias para la transición agroecológica de los agro-ecosistemas, frecuentemente somos interrogados acerca de “cuanto tiempo” lleva la transición y “que pasos seguir” para alcanzarla. Si algo dejó en claro este proyecto desarrollado sobre el módulo agroecológico de la CI Barrow (MAA – INTA), fue la idea cierta que el pro-

ceso de transición será más “costoso” (en términos de tiempo y diversidad de estrategias) cuanto más vulnerable sea el agro-ecosistema sobre el cual se trabaja. La vulnerabilidad proviene no solo de condiciones climáticas y edáficas sino al uso e intensidad que se le ha dado a ese agro-ecosistema. **(Foto 1)**

Los componentes biológicos del suelo, poseen diferentes mecanismos y tiempos de respuesta a lo que está sucediendo sobre la superficie: en algunos sistemas estarán más “castigados” que en otros y esto influirá en que se pueda visualizar su reacción en el mediano o largo plazo. Esta reacción puede ser monitoreada de acuerdo a “ensambles edáficos funcionales” integrados por grupos mixtos tanto de micro como de meso fauna, lo que nos permite considerar los beneficios eco-sistémicos aportados, más allá de su presencia y recuentos realizados utilizando las más variadas metodologías, todas discutidas y todas válidas.

Foto 1



AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a los compañeros que compartieron estos años de estudios Martín Zamora, Natalia Carrasco, Eduardo Cerdá y Leandro Pusineri. Al Director de la Chacra Integrada Barrow, Ing Agr Bertucci y a todo el personal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril A., L. Noe, C. Merlo and C. Vázquez. 2013. "Do the diversity criteria of conventional ecology apply to microbial ecology?" *Recent Res. Devel. Ecol.*, 4(2013): 19-30
- Altieri Miguel & Clara Nichols 2007. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas ED Perspectivas agroecológicas, Serie2 Ecología, ISBN: 978-84-7426-764. Año Publicación: 2007 248pp.
- Anderson Traute-Heidi. 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality *Agric. Ecosystem & Envirom.* (2003) 98: 285 – 293.
- Bautista Cruz A., J. Etchevers Barra , R.F. del Castillo , C. Gutiérrez, 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13 (2): 90-97. Mayo 2004. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?ld=149>
- Behan-Pelletier, V.M. 1999. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: rol for bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 411 – 423.
- Carrasco N., Zamora M., Cerdá E., Pusineri L., Barbera A., De Luca L., Perez R. 2015. Agroecología en cultivos extensivos en el centro sur Bonaerense: Manejo a campo y servicios ecosistémicos. *Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología.* Universidad Nacional de La Plata. <http://memoriasocla.agro.unlp.edu.ar/>
- CIAC.INTA AUDEAS Proyecto 940136 Informe de Avance año 2014.
- Chaves-Bedoya, Giovanni, Ortiz-Moreno, Martha Lucia, & Ortiz-Rojas, Luz Yineth. (2013). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Acta Agronómica*, 62(1), 66-72. Retrieved http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122013000100010&lng=en&tln-g=es., June 02, 2014
- Davic, R. D. 2003. 'Linking keystone species and functional groups: A new operational definition of the keystone species concept', *Conservation Ecology*, vol 7, 1:11-21
- De Luca L., Zamora M., Carrasco N., Pusineri L., Cerdá E, Pérez, R. 2015 Proceso de formación de un módulo demostrativo agroecológico extensivo. *Actas del V Congreso Latinoamericano de Agroecología.* Universidad Nacional de La Plata. <http://memoriasocla.agro.unlp.edu.ar/>
- Relevamiento de la utilización de agroquímicos en la Provincia de Buenos Aires, Defensoría del Pueblo de la Provincia de Buenos Aires, 2014. Mapa de situación e incidencia sobre la salud. En: https://www.agro.unlp.edu.ar/sites/default/files/paginas/informe_agroquimicos_comprimido.pdf ingreso Febrero 2016
- Frioni Lillian. 1999. *Procesos Microbianos.* Ed. Fundación de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Primera Edición. 334p
- Frioni Lillian, 2011. *Microbiología básica, ambiental y agrícola.* Ed Orientación Gráfica. Primera Edición. 744 pp
- Hernandez Flores, L., A. Munive Hernández; E. Sandoval Castro, D. Martínez Carrera; M.C. Villegas Hernández. 2013. Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2013, 353-365.

- Kibblewhite, M. G., Ritz, K. y Swift, M. J. 2008. Soil health in agricultural systems, Philosophical Transactions of the Royal Society Series B, vol 363: 685–701.
- Lavelle, P., Decaëns, T. Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P. y Rossi, J-P. (2006) 'Soil invertebrates and ecosystems services', European Journal of Soil Biology, vol 42, pp. S3–S15.
- Moreira, F., E. J. Huising y D. E. Bignell. 2012. *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Instituto Nacional de Ecología, México, Primera Edición. 337 pp.
- Paruelo J. M., Guerschman J. P. y Verón S. R. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Revista Ciencia Hoy, Vol 15 N ° 87: 14-23.
- Pérez, Raúl A; M. Pérez; A. Lavarello Herbin; V. Paganí ; D. Mangold ; M. Galetto Manejo ecológico de *Cynodon dactylon* mediante verdeos consociados. 2015. Un proceso de investigación acción participativa en el sur de Santa Fe. Rev. Fac. Agron. La Plata (2015) Vol 114 (Núm. Esp.1) Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio: 38-44
- Salazar Martínez, A; De Luca, L. 2015. Micro y Mesobiota en suelos con manejo agroecológico y convencional. Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología. Universidad Nacional de La Plata. Archivo Digital: : <http://memoriasocla.agro.unlp.edu.ar/> ingreso 7 de mayo 2016.
- Swift Mike J., David E. Bignell, Fátima M. S. Moreira y E. Jeroen Huising 2012 "Inventario de la biodiversidad biológica del suelo: concepto y guía general" en Moreira, F., E. J. Huising y D. E. Bignell. 2012. *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Instituto Nacional de Ecología, México, 337 pp., México.

CAPÍTULO 6

COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS MIXTOS AGRÍCOLAS PECUARIOS EN LA ZONA NORTE DE REGIÓN PAMPEANA



Luis. M. Jacquelin¹

¹ INTA-EEA Pergamino, Av. Frondizi (Ruta 32), Km 4.5, 2700 Buenos Aires, Argentina.

Correo electrónico: jacquelin.luis@inta.gob.ar

Resumen

La agroecología propone una mirada diferente del agroecosistema desde una perspectiva sistémica con eje en la biodiversidad, apuntando a un cambio de actitud de los actores sociales en relación al manejo y conservación de los recursos naturales. En ese marco se crea en 2004, el Módulo Extensivo Agroecológico, en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino. Es un sistema mixto agrícola-ganadero donde los cultivos extensivos entran en rotación con pasturas base alfalfa y cultivos de cobertura, buscando una mayor diversidad productiva. La rotación contempla ciclos agrícolas con cultivos invernales (trigo, triticale, vicia) y cultivos estivales (maíz y soja), en alternancia con pasturas polifíticas alfalfa-festuca. Los cultivos de cobertura de invierno (triticale y vicia), se utilizan como antecesores de los cultivos de verano. El mantenimiento de la fertilidad del suelo responde al diseño de la rotación y a los aportes de materia orgánica y nitrógeno generados por los cultivos de cobertura y pasturas. El seguimiento de la fertilidad del suelo se lleva a cabo merced a análisis químicos/microbiológicos en cada parcela. El laboreo se realiza con implementos mecánicos tradicionales y rolo faca en siembra directa. No se utilizan productos de síntesis química ni organismos genéticamente modificados. En el transcurso de los años se han realizado ajustes en la secuencia de cultivos de la rotación, en los materiales utilizados y en las pautas de manejo implementadas.

Palabras clave: agroecología, biodiversidad, sistema mixto, rotación, cultivos de cobertura.

Summary

Agroecology proposes a different view of the agro-ecosystem from a systemic perspective with an axis on biodiversity, pointing to a change of attitude of the social actors in relation to the management and conservation of the natural resources. In 2004, the Agroecology Extensive Module was installed in the Agricultural Experimental Station in Pergamino at the Agricultural Technology National Institute. It's a livestock agricultural system where rotations between field crops and pastures (alfalfa and cover crops) are used such as greater productive diversity. The rotation includes agricultural cycles with winter crops (wheat, triticale, vetch) and summer crops (maize and soya beans), in alternation with polifíticas alfalfa-fescue pastures. The winter cover crops (triticale and vetch) are used such as antecessors of summer crops. The soil fertility maintenance answers to the rotation and the contribution of organic matter and nitrogen generated by cover crops and pastures. The monitoring of the soil fertility is carried out thanks to chemical and microbiological analysis in each plot. Tillage is performed by traditional mechanical implements, such as "rolofaca" in direct seeding. Chemical synthesis products or genetically modified organisms are not used. In the years arranged had been done in the rotation crops, with the materials used and with the cultural works used.

Keywords: Agroecology, biodiversity, mix system, rotation.

1. Introducción

Los sistemas productivos en el norte de la región pampeana han sufrido cambios sustanciales. Hasta la década del 70 los cultivos agrícolas, trigo, maíz y girasol entraban en rotación con pasturas perennes y ganadería permitiendo mantener la fertilidad y productividad de los suelos. Puricelli afirma que *“La rotación agrícola-ganadera es el único sistema que puede mantener y acrecentar la productividad de los campos, manteniendo bajo control los principales fenómenos degradatorios de las tierras, sean estos erosión, deterioros físicos y de la fertilidad química, etc...Por añadidura el sistema es ecológicamente estable y energéticamente eficiente”*. (Puricelli,1985). Papadakis considera que *“en el sistema de rotación se alternan ciclos de “edificación” de la fertilidad física y química mediante pasturas de gramíneas y leguminosas y de degradación por efecto de la sucesión de cultivos agrícolas”*. (Papadakis,1960)

A partir de la década del '80 se inicia un proceso de degradación de suelos producto de la agricultura, incremento de labranzas, incorporación del doble cultivo trigo-soja y ausencia de uso de fertilizantes. Así, Echeverría menciona que *“entre las décadas del 70 al 85 más del 80% de las tierras aptas entran en un proceso de producción agrícola en forma continuada y se reduce la existencia de ganado en un 50%”* (Echeverría, 1994). En los últimos tiempos se ha producido un aumento de la superficie agrícola y una reducción de las áreas destinadas a pasturas. Los ciclos agrícolas se han alargado y se han transformado en agricultura permanente en aquellos casos donde se dejó de hacer ganadería. El deterioro del suelo, tanto en fertilidad como en condiciones físicas se ha acelerado. La reducción de la materia orgánica, el déficit generalizado de nitrógeno,

el incremento de la superficie con deficiencia de fósforo, la acidificación, etc, son algunos de los aspectos salientes en cuanto al efecto sobre la fertilidad de suelos. Otros factores, además de la falta de rotaciones, como el aumento de la mecanización agrícola, la mayor intensidad de uso del suelo por la expansión del doble cultivo trigo-soja, la falta de reposición de nutrientes mediante la fertilización química, entre otros, han contribuido con este proceso. Los niveles de materia orgánica oscilan entre 4 y 5%; que se ven disminuidos a la mitad en suelos sujetos a agricultura continuada desde hace varias décadas. (INTA PAC Publicación técnica N° 1, Noviembre 1986). *“La agricultura de la zona es reciente dado que comenzó a principios de siglo. La misma se caracteriza, hasta inicio de la década de los '90, por una baja utilización de fertilizantes nitrogenados (< 5kg.N/ha/año)”*. (Andriulo, 1996). A partir de 1985 el INTA lanza el Proyecto de Agricultura Conservacionista (PAC), con el propósito de difundir tecnologías sustentables en los sistemas productivos, en un área de influencia de 5 millones de hectáreas comprendidas en el norte de Buenos Aires, centro-sur de Santa Fe, sureste de Córdoba y sur-oeste de Entre Ríos. El paquete tecnológico contemplaba principalmente labranza conservacionista, siembra directa, rotaciones, fertilización y control integrado de plagas y malezas. La ganadería ya no tenía más cabida en la rotación. (EEA INTA Pergamino, 2012). En pocos años la siembra directa pasó de 3000 has a más de 500.000 y aumentó el uso de fertilizantes y tecnología en el control de malezas y plagas. (Senigagliesi y Calcaterra, 1988) (INTA PAC, 1988 y 1988bis) (Senigagliesi y Massoni, 2001). A principios de la década del '90 con la aparición de los cultivos

transgénicos se produce una revolución en el agro pampeano. Surge la soja RR resistente al glifosato y los maíces Bt tolerantes a insectos. Así, en la región núcleo maicera, en el Norte de la provincia de Buenos Aires, particularmente en el partido de Pergamino, el área del cultivo de soja alcanza un crecimiento exponencial desplazando al maíz, otrora el cultivo más importante. La siembra directa alcanza su apogeo y en paralelo crece el uso de agroquímicos, en especial el glifosato. Adicionalmente la elevada rentabilidad de la soja y los bajos costos de producción en relación al maíz conducen al monocultivo de la leguminosa con los consiguientes perjuicios en el agroecosistema. Hoy el predominio de la soja y la ausencia de maíz en la rotación han provocado pérdida de materia orgánica, erosión y compactación de suelos. A esto se le suma la aparición de fenómenos de resistencia en malezas como consecuencia del uso repetido de herbicidas con el mismo principio activo. Pese a la aparición de nuevas moléculas y el resurgimiento de principios activos utilizados en la década del '80, tales como 2,4 D, atrazina, haloxifop p metil, fomesafen, etc. resulta difícil el control de capín (*Echinochloa colona*); rama negra (*Conyza bonariensis*); yuyo colorado (*Amaranthus quitensis*); raigrás (*Lolium multiflorum*); sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*), entre otros. El manejo de malezas resistentes debe contemplar alternativas de laboreo complementarias y rotación de cultivos. La siembra directa y el control químico no resuelven esta problemática. El uso de cultivadores de campo con rejas planas remueven mecánicamente estas adventicias, en especial rama negra (*Conyza bonariensis*), preservando la cobertura del suelo. En esa línea el INTA Pergamino e INTA Marcos Juárez realizan ensayos con cultivos de cobertura, principalmente vicia, con el propósito de disminuir la presión de malezas y aplicaciones de herbicidas. Los resultados son promisorios porque adicionalmente mejoran la condición físico-química y microbiológica de los suelos en un contexto de buenas prácticas agrícolas. Ya en los últimos años existen demandas de productores interesados en alternativas de manejo que impliquen tecnologías

blandas para disminuir o eliminar el uso de pesticidas. Asimismo los habitantes del periurbano de varias localidades de la provincia de Buenos Aires reclaman por los efectos nocivos en la salud y el ambiente que producen las aplicaciones de agroquímicos. Así en varios municipios se han establecido zonas de exclusión de los mismos y zonas de amortiguamiento donde sólo se permite el uso de agroquímicos de baja toxicidad (banda verde). En la localidad de Pergamino rige la ordenanza N° 8126/14 que define 100 m y 500m como los límites de las zonas de exclusión y amortiguamiento, ocupando superficies de 1033 ha y 6148 ha, respectivamente. (Kauffmann y Ferreyra, 2016). El diseño de sistemas extensivos agroecológicos representa una alternativa para estos actores.

Caracterización de la región de estudio

La “Pampa Ondulada” constituye una unidad fisiográfica caracterizada por un relieve claramente ondulado. Posee pendientes que por lo general no alcanzan el 2% de gradiente y en parte está recortado por cañadas, arroyos y ríos.

El área que nos ocupa está ubicada en el NE de la provincia de Buenos Aires comprendida entre los ríos Paraná-Plata y el Salado al SO. (Carta de Suelos de la República Argentina INTA –CIRN, Pergamino 1972) (**Fig. 1**).

Suelos

Los suelos no ofrecen mayores problemas de drenaje y los materiales sobre los cuales se formaron están representados por sedimentos loésicos de textura franco limosa, denominados “loess pampeano”. Según la Carta de Suelos de la República Argentina el suelo de la Serie Pergamino es un Argiudol típico (Brunizem máximo con horizonte B2t fuertemente textural). Es oscuro, profundo y bien drenado de las lomas y planos altos del partido de Pergamino. El horizonte A1 de 25 a 30cm. es granular, de textura

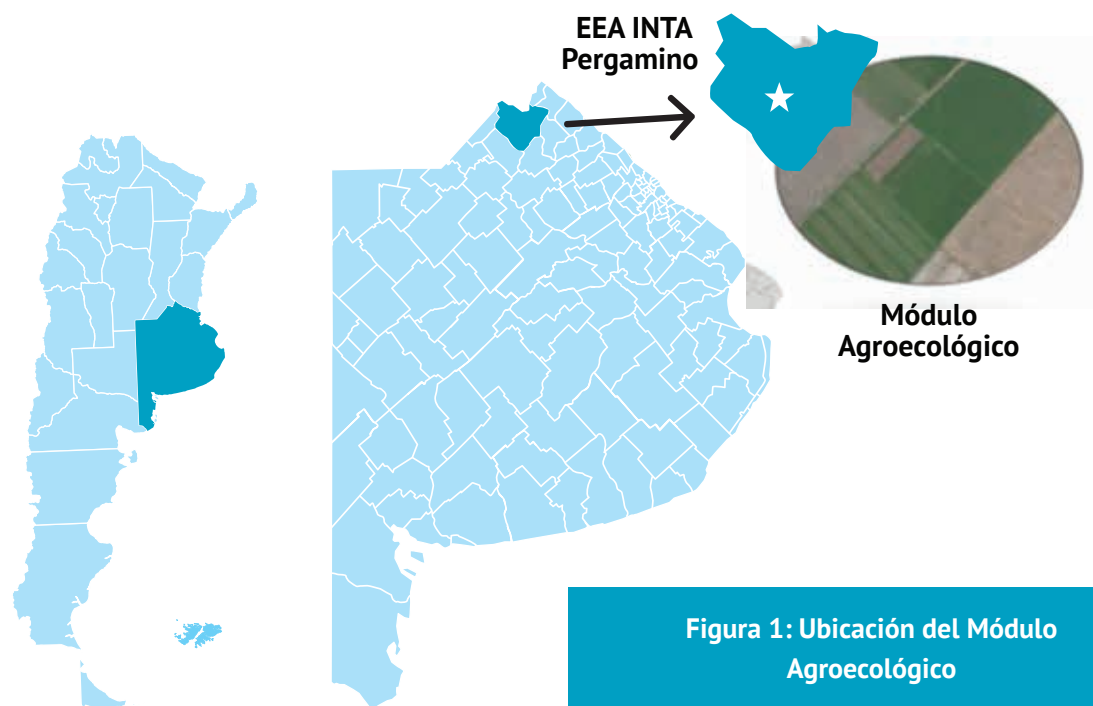


Figura 1: Ubicación del Módulo Agroecológico

franco limosa y de color pardo grisáceo muy oscuro. Presenta 2,5 a 2,9% de materia orgánica. El horizonte B2t, de textura arcillosa, es de color pardo oscuro, de estructura prismática y se extiende desde los 35-40cm hasta el metro de profundidad. El horizonte C, de estructura franco limosa, se encuentra a 1,60m. Los suelos de la serie Pergamino son muy fértiles y productivos, con una buena retención de humedad, aptos para agricultura y ganadería. Carta de Suelos de la República Argentina INTA CIRN Hoja 3360-32 Pergamino (1972). La vegetación original predominante constituida por pastizales con preponderancia de especies gramíneas sufre cambios importantes en su composición florística, inicialmente por efecto de la ganadería y, luego por la agricultura.

Clima

El clima del partido de Pergamino es templado-húmedo. Los datos de la Estación Meteorológica de la EEA INTA Pergamino para la serie histórica 1967-2016 indican que la temperatura promedio anual

es de 16,5° C. La temperatura promedio más alta corresponde a Enero con 23,4°C y la temperatura promedio más baja ocurre en Julio con 9,7°C. La máxima absoluta se verifica en Enero con 30,2°C y la temperatura mínima absoluta en Julio es de -3,2°C. El período libre de heladas agrometeorológicas alcanza los 188 días. **(Cuadro 1)**

Las precipitaciones promedio para la serie 1910-2016 son de 990mm. En los últimos 3 años se observa variabilidad en los registros, particularmente en 2017, donde el promedio de lluvias alcanzó los 1.402.8mm. **(Fig. 2y 3)**.

El Módulo Extensivo Agroecológico

La experiencia se lleva a cabo geográficamente dentro del subsistema ecológico del núcleo maicero, de la provincia de Buenos Aires, sobre el cual Morello y Matteucci; aseguran que *“es muy poco lo que se sabe en relación a lo que habría que saber para hacer un manejo integrado sostenible del paisaje pampeano”*. (Morello, 1997)

La práctica de la agricultura conservacionista

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temp. Media mensual (°C) 1967/2016	23,4	22,0	20,3	16,7	13,3	10,2	9,7	11,2	13,4	16,5	19,5	22,3
Temp. Máxima mensual (°C) 1967/2016	30,2	28,5	26,7	23,2	19,4	15,9	15,6	17,7	20,1	22,9	26,2	29,3
Temp. Mínima mensual (°C) 1967/2016	16,6	15,8	13,8	10,3	7,3	4,6	3,9	4,6	6,7	10,0	12,8	15,3
Temp. Máxima absoluta (°C) 1967/2016	36,4	34,3	32,8	29,9	27,1	22,7	23,7	27,0	28,9	31,3	34,1	36,0
Temp. Mínima mensual (°C) 1967/2016	9,8	8,6	6,3	2,3	-0,6	-2,7	-3,2	-2,7	-0,8	3,1	5,8	8,6
Precipitación mensual (mm) 1910/2016	112	109	123	99	59	37	36	42	55	106	103	109
Evaporación media mensual (mm) 1967/2016	181	135	120	79	57	38	43	74	107	120	152	182
Evapotranspiración Potencial (mm) 1967/2016	167	136	109	71	43	25	27	37	58	83	124	153
Humedad Relat. media mensual (%) 1967/2016	68	73	74	74	76	77	76	72	69	71	68	66
Heliofanía efectiva media (h) 1967/2016	9,3	8,5	7,7	6,6	5,7	5,1	5,3	6,4	6,9	7,3	8,7	9,0
Heliofanía relativa media (%) 1967/2016	66	63	61	59	53	49	52	57	59	57	60	60
Velocidad del viento (km/h) a 2m de altura 1968/2016	8,9	8,3	7,6	8,0	8,4	9,4	10,0	10,7	11,7	11,1	10,7	9,6
Temp. Media de suelo (°C) 1967/2016 a 5 cm de profundidad	26,6	25,0	24,2	18,0	14,0	10,6	9,6	11,1	14,1	18,2	22,0	26,5
a 10 cm de profundidad	26,0	24,7	22,5	18,1	14,3	10,7	9,6	10,8	13,6	17,4	21,3	24,4
a 20 cm de profundidad	25,4	24,4	22,4	19,6	14,6	11,1	9,9	10,9	13,4	17,0	21,3	24,3
Promedio de días con heladas Agrometeorológica (0,5 cm intemperie) 1992/2016	0,3	0,0	0,8	2,5	7,2	14,4	16,8	14,1	8,4	1,8	0,5	0,1
meteorológicas (1,5 m en abrigo) 1967/2016	0,0	0,0	0,0	0,2	1,9	5,6	7,8	5,4	1,9	0,1	0,0	0,0
Número de días con heladas meteorológicas: 112 días							Número de días con heladas agrometeorológicas: 177 días					
Período libre de heladas meteorológicas: 253 días							Período libre de heladas agrometeorológicas: 188 días					
Fecha promedio primera helada meteorológica 1967/2016: 21/5							Fecha promedio primera helada agrometeorológica 1992/2016: 19/4					
Fecha promedio última helada meteorológica 1967/2016: 10/9							Fecha promedio última helada agrometeorológica 1992/2016: 15/10					

Cuadro 1: Resumen meteorológico. Serie histórica 1967-2016.

Fuente: Estación Meteorológica EEA INTA Pergamino.

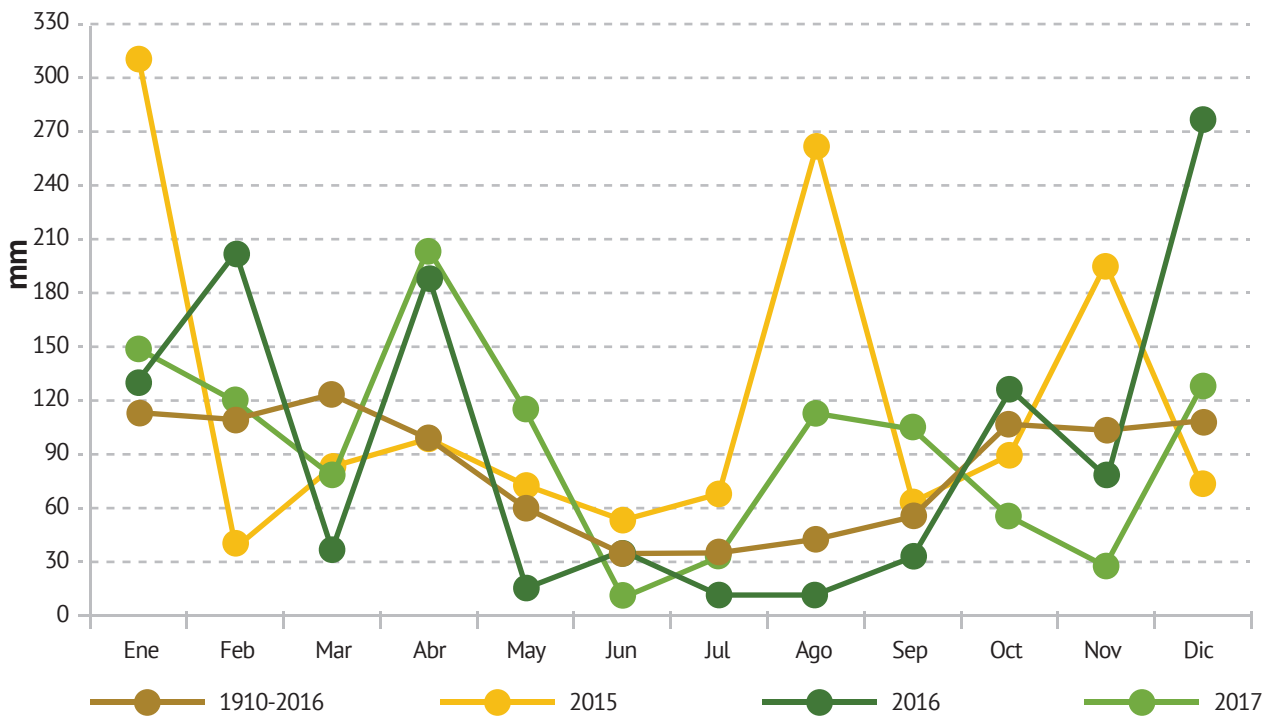


Figura 2: Precipitaciones mensuales serie 1910-2016 y años 2015,2016 y 2017

Fuente: Estación Meteorológica EEA INTA Pergamino.

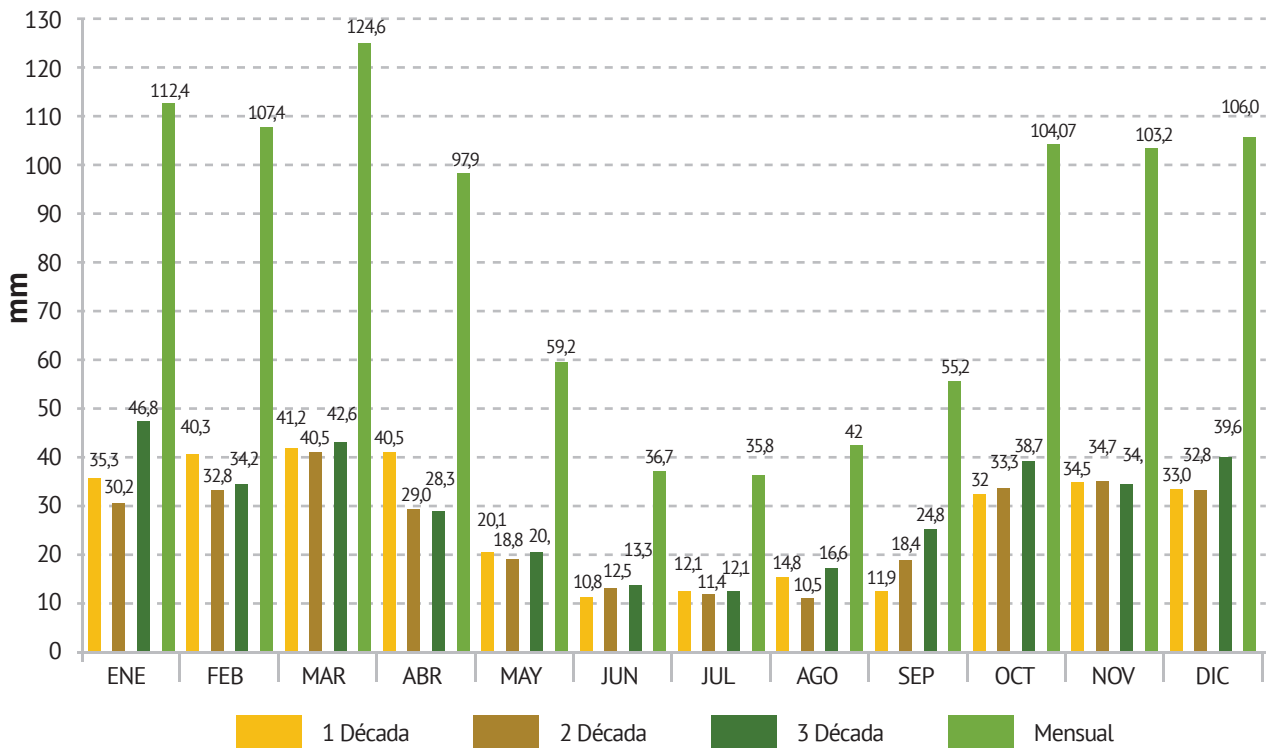


Figura 3: Precipitaciones medias mensuales y decádicas 1910-2017

Fuente: Estación Meteorológica EEA INTA Pergamino.

parte de una visión de sistema, “interpretando el sistema en su sentido más amplio: las explotaciones individuales, los ecosistemas locales y regionales, y las comunidades humanas afectadas por la agricultura tanto a nivel local como regional, y los consumidores del país entero” (Solbrig, 1998).

Altieri (1999) agrega que el desarrollo de una agricultura sustentable y autosuficiente requiere interpretar a la naturaleza y los principios del funcionamiento de los agroecosistemas y expresa que “la agroecología es una disciplina que provee los principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que son productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que además, son culturalmente sensibles y socialmente y económicamente viables” En ese marco se crea en 2004 la unidad demostrativa agroecológica, que persigue los siguientes objetivos:

- Generar alternativas sustentables a la agricultura convencional.
- Pasar de una agricultura de insumos a una agricultura de procesos.

- Mantener y/o mejorar las condiciones físicas y nutricionales del suelo.

- Generar tecnologías de manejo sustentable en cultivos extensivos.

Características del predio de estudio

Se encuentra ubicado dentro del Campo Experimental de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino. Cuenta con 4has. divididas en 5 parcelas de 0,8has.

El suelo es un Argiudol típico Serie Pergamino (capacidad de uso 1). Las rotaciones a partir de 2012 se presentan en el **Cuadro 2**.

Metodología de trabajo

La situación de partida de la experiencia fue una pastura perenne bajo pastoreo (1998-2003) con alta infestación de gramón (*Cynodon dactylon*). En

2012/13	TRIGO Charrúa Guatimozin	Avena SOJA 0,35	Triticale + V. villosa Mz 0.70 Sja 0,175	Triticale + V. villosa Mz 0.52 Sja 0,175	PASTURA
2013/14	Siembra PASTURA 1 año	TRIGO	Vicia villosa MAÍZ	Triticale SOJA	Triticale SOJA
2014/15	PASTURA 2 años	Siembra PASTURA 1 año	Triticale SOJA	Vicia TRIGO	Vicia villosa MAÍZ
2015/16	PASTURA 3 años	PASTURA 2 años	Vicia MAÍZ	Triticale SOJA	SOJA
2016/17	PASTURA 4 años	PASTURA 3 años	Vicia ARVEJA/MOHA	Triticale MAÍZ	TRIGO/ SOJA
2017/18	PASTURA 5 años	PASTURA 4 años	Siembra PASTURA 1 año	Triticale SOJA	Vicia MAÍZ

Cuadro 2: Rotaciones Módulo Agroecológico EEA INTA Pergamino desde el año 2012.

el ciclo 2003-2004 se implantó soja de 1ª realizándose control químico de gramón por única vez con glifosato.

Se efectuó un análisis químico del suelo en 2004 y se diseñó la rotación. Esta prevee ciclos agrícolas de 5-6 años con cultivos invernales (trigo, triticale, vicia, arveja) y cultivos estivales (maíz, soja, moha) en alternancia con pasturas polifíticas alfalfa-festuca de igual duración.

En esta ocasión se presentan los resultados a partir del año 2014. Los datos del análisis químico de suelo 2004 y los obtenidos en 2016 revelan valores estables en el contenido de materia orgánica y nitrógeno. **(Cuadro3)**

El seguimiento de la fertilidad del suelo se lleva a cabo merced a análisis químicos/microbiológicos en cada parcela que se realizan en forma periódica. Los cultivos de cobertura como antecesores de los cultivos de verano, maíz y soja, cumplen las siguientes funciones en el esquema de rotación:

- Controlan los procesos de erosión
- Conservan el agua del suelo.
- Controlan las malezas por competencia de agua, nutrientes e intercepción de luz.
- Reducen las pérdidas de nitrógeno por lixiviación.
- Incrementan los niveles de materia orgánica.
- Generan biodiversidad sobre y bajo el suelo.
- Generan puentes verdes entre los cultivos.

La gramínea que antecede a la soja es triticale (*x Triticosecale Wittmack*) **(Foto1)**. Es un híbrido interespecífico entre trigo y centeno. Presenta eleva-

	2004	2016
	0-20 cm	0-20 cm
ph	6,1	6
M.O. (%)	3,8	3,78
P (ppm)	23	17,8
N (%)	0,197	0,21

Cuadro 3: Análisis químico comparativo 2004-2016

das producciones de forraje y grano en ambientes de baja disponibilidad hídrica y suelos de mediana fertilidad. Supera a la avena (*Avena sativa*) en resistencia al frío y por su mayor aporte de MS/ha. La elección de este cereal sintético como cultivo de cobertura radica en su alta producción de biomasa, hasta 7.000kg. de MS/ha, que favorece la implantación de la leguminosa.

El período de siembra abarca desde mayo hasta junio. La densidad de siembra oscila entre 100kg/ha a 120kg/ha (200-250plantas/m²). El manejo del cultivo contempla la interrupción del cultivo al estado de espigazón/floración, hacia fines de octubre, efectuando se incorporación del material verde con rastra de discos. Aquí comienza la etapa de barbecho donde el suelo acumula agua y se produce liberación de nutrientes por acción microbiológica. A fines de noviembre finaliza el barbecho y comienzan las labores de preparación de cama de siembra para implantar la soja a principios de diciembre.

En el caso del maíz de 2ª se utiliza la vicia (*Vicia sativa/Vicia villosa*) como cultivo de cobertura **(Foto 2)**. Es una leguminosa anual que aporta nitrógeno



Foto 1 Triticale var. Espinillo.

al suelo merced al simbiote *Bradyrhizobium japonicum*. La *V. villosa* presenta porte achaparrado y mayor resistencia al frío que *V. sativa*. Esto favorece una temprana competencia contra malezas. La época de siembra es preferentemente en mayo pero puede extenderse hasta junio a costa de menor desarrollo vegetativo. Las densidades de siembra oscilan entre 25-40kg./ha. La menor densidad corresponde a *V. villosa*. La interrupción del cultivo es al estado de floración/formación de vainas. El manejo y la duración del barbecho es similar al utilizado para triticale. La siembra de maíz transcurre durante la primera semana de diciembre.

En el período estival se utiliza la moha de Hungría (*Setaria italica*) como cultivo de cobertura antecesor de pasturas. Es una especie gramínea anual de rápido crecimiento de aptitud mixta, pastoreo y cosecha de forraje. Su ciclo varía entre 80 y 120 días. La época de siembra se extiende entre los meses de octubre y diciembre. La densidad de siembra oscila entre 20-25kg./ha. Produce importantes volúmenes de forraje que alcanza hasta 10.000kg. de MS/ha. Las pasturas se manejan con cosecha de forraje (rollos) y ganadería, donde se mide ganancia



Foto 2: *Vicia villosa*

de peso y producción de carne/ha con diferentes cargas animales. El laboreo del suelo es convencional y en algunos casos se practica siembra directa sobre cultivos rolados.

El rolo faca (**Foto 3**) consta de una estructura cilíndrica con perfiles de acero, tiene un peso de 2.000kg y un ancho de trabajo de 2mts. El pasaje sobre el cultivo de cobertura genera un aplastado del tejido de conducción y posterior marchitamiento de la biomasa. La velocidad de trabajo no debe superar los 5 km/h. Requiere doble pasada en el sentido del cultivo o en forma transversal. El logro de una cobertura uniforme se alcanza con 4.500-5000 kg.MS/ha en vicia y entre 6.000 a 7.000 kg.MS/ha para triticale.

Resultados y discusión

Trigo

La presencia de esta gramínea en la rotación es fundamental por su aporte de carbono al sistema. Incorpora biomasa de parte aérea y raíces, promueve la formación de agregados y mejora la estructura del suelo. Es un cultivo de fácil manejo en este contexto productivo ya que puede implantarse con mínima labranza utilizando discos. Asimismo existe la alternativa de siembra directa previo uso de rolo faca. Esta situación se dio en el ciclo 2016, donde la parcela con cultivo antecesor soja perdido por granizo, se hallaba muy enmalezada con capín (*Echinochloa crusgalli*) y el trabajo de esta herramienta hizo que se lograra una cobertura uniforme que facilitó la operación de siembra. Es importante la elección de materiales de ciclo intermedio/largo con buen perfil sanitario pues aportan un volumen importante de carbono al suelo y no son afectados por enfermedades. Eventualmente en variedades tolerantes puede recurrirse a bioinsumos. En ese sentido se destacan en el mercado argentino las variedades del criadero Klein.

Las siembras tempranas, entre mediados de mayo a principios de junio, aseguran una rápida emergen-



Foto 3: Rolo faca diseño Dolby.

	2014	2016
Antecesor	Soja	Soja var. K3700
Cultivo	Trigo Klein Guatimozin	Trigo Klein Serpiente
Fecha siembra	03 junio	21/06/2017 (rolado y siembra directa)
Densidad	380 sem/m ²	300 sem/m ²
Fecha cosecha	28 noviembre	07 diciembre
Rendimiento	30,5 qq/ha	45,06 qq/ha
Proteína bruta	15,20%	10,60%

Cuadro 4: Resultados campañas trigo 2014-2016

	Análisis de suelos	
	2014	2016
MO	3,29%	3,03%
N	0,165%	0,197%
NN03	12,2 ppm	20,7 ppm
Pe	16 ppm	15,1 ppm
CIC	15,6 mol/kg	16,2 mol/kg

Cuadro 5: Análisis de suelo a la siembra

cia y efectiva competencia de malezas. (Cuadros 4 y 5) (Foto 4 y 5)

Es destacable el rendimiento obtenido en 2016, donde no se utilizaron bioinsumos para el tratamiento de semilla, ni para enfermedades de hoja. En el desarrollo del cultivo no se verificaron enfermedades, sólo una leve incidencia de mancha amarilla (*Drechslera tritici repentis*).

Se considera que es el efecto de la rotación y la actividad microbiológica del suelo que facilitan la disponibilidad de nutrientes, en especial fósforo. En ese sentido, complementarios al análisis químico,

se realizan análisis de actividad enzimática y respiración microbiana para validar estos resultados.

Maíz

El cultivo del maíz en la región ha perdido relevancia a favor de la soja por varios factores:

a) Elevado costo de producción: El insumo más relevante en la composición del costo es el fertilizante y la semilla transgénica con eventos de resistencia a insectos y malezas.

b) Precio de mercado poco competitivo.

c) Clima: La dependencia de lluvias en el período crítico de floración limita los rendimientos en las siembras tradicionales de septiembre. La soja presenta mayor elasticidad y rusticidad ante períodos de escasez de precipitaciones. Por ello en los últimos años muchos productores se han volcado a

las siembras tardías de maíz en el mes de diciembre, posicionando el período crítico en el mes de febrero, en coincidencia con las lluvias y la menor demanda atmosférica. Ante la necesidad de revertir el proceso de sojización y revalorizar la importancia del maíz en la rotación, el INTA Pergamino está trabajando en el mejoramiento de variedades de maíz. Tal es el caso de la variedad Candelaria INTA, su versión mejorada Candelaria Dúo INTA y en la evaluación de poblaciones destinadas a la generación de híbridos con destino al pequeño y mediano productor. En el ámbito privado varias empresas privadas han volcado, al mercado, materiales no transgénicos de excelente comportamiento sanitario en siembras de 1ª y de 2ª luego de vicia.

El manejo del cultivo de maíz de 2ª (**Cuadro 6**), comienza con la implantación de la vicia a mediados de mayo.



Fotos 4: Trigo Klein Serpiente



Foto 5: Trigo Klein Serpiente a cosecha



Foto 6: Labor de escardillo.

En el mes de octubre, cuando el cultivo está entre fines de floración-formación de vainas, al inicio del período de barbecho, se incorpora con disco. La preparación de cama de siembra se realiza hacia fines de noviembre, mientras que la implantación del cultivo transcurre durante la 1ª quincena de diciembre. Las labores de control mecánico de malezas se realizan con rastra rotativa en estado vegetativo temprano (V2) y con escardillo entre líneas a partir de V4-V5. (Foto 6)

Los materiales evaluados pertenecen al Criadero Rusticana. Son híbridos simples del tipo flint, semiflint y semidentado. En las sucesivas campañas no han manifestado problemas de vuelco/quebrado por barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*). Existe control biológico de oviposiciones por tijereta (*Doru lineare*). Asimismo no han sido significativos los daños tanto por isoca cogollera (*Spodoptera frugiperda*), en estado vegetativo, como por isoca de la espiga (*Helicoverpa zea*). Las enfermedades foliares, tizón (*Exserohilum turcicum*) y roya (*Puccinia sorghi*) han tenido leve incidencia.

Los análisis de suelo de las sucesivas campañas revelan la estabilidad en el contenido de materia

	2013	2014	2015	2016
Material	Maíz var. Candelaria INTA	Maíz híbrido NT426 Rusticana	Maíz híbrido NT426 Rusticana	Maíces híbridos NT623 (semident); NT525 (semiflint); NT426 (Flint)
Antecesor	Vicia villosa 30 kg/ha (incorporación con disco al estado de botón floral)	Vicia sativa 47 kg/ha (incorporación con excéntrico)	Vicia sativa 45 kg/ha - en directa sobre rastrojo soja incorporación con disco	Vicia sativa 45 kg/ha Incorporación MS5020 kg/ha
Siembra	03 diciembre	04 diciembre	14 diciembre	02 diciembre
Densidad	70000 sem/ha	72000 sem/ha	72000 sem/ha	72000 sem/ha
Distancia	0,70 m	0,70 m	0,70 m	s/d
Labores	escardillo en V4 y V7	rotativa en V2 escardillo en V5-V6	escardillo en V6 y V7	escardillo en V6 y V8
Cosecha	18 junio	17 junio	29 junio	14 junio
Rendimiento	50 qq/ha	83 qq/ha	65 qq/ha	53,9 qq/ha

Cuadro 6: Resultados maíz. Campañas 2013-2016.

orgánica (MO) y nitrógeno. El efecto del barbecho incrementa el contenido de nitratos (NO_3^-) y fósforo extractable (Pe), por mineralización y acción microbiológica, facilitando su disponibilidad y reemplazando la adición de fertilizantes químicos. (Cuadro 7).

El Cuadro 8 muestra los diferentes contenidos de humedad a cosecha (14/06) y rendimientos de los híbridos en la campaña 2016. El material semidentado NT 623 por su rápida velocidad de secado presenta un contenido de humedad 3,5 puntos sobre el flint NT426. El híbrido NT426 (Foto 7) presenta alta calidad pero lenta velocidad de secado. El material semiflint NT525 presenta características intermedias posicionándolo favorablemente tanto en calidad como en velocidad de secado.

El estándar de comercialización establece que la mercadería con 14,5% de humedad no sufre mermas por secado. Así el momento de cosecha se anticipa en los materiales semidentados y semiflint permitiendo la incorporación de arveja o triticale en la secuencia de rotación. Asimismo son más flexibles en la época de siembra admitiendo una implantación más tardía que los híbridos flint. Los materiales flint/semiflint son indicados para alimentación animal y molinería, por su calidad y precio de mercado. Se pueden obtener 50% de sobreprecio por mercadería orgánica certificada con destino a Estados Unidos. Los híbridos semidentados son más rendidores y más precoces.

Soja

El cultivo de la leguminosa, con antecesor triticale, se implanta entre fines de noviembre y principios de diciembre. El marco de plantación es en hileras estrechas para facilitar el manejo de malezas por competencia. El manejo es con laboreo mecánico. Los rendimientos obtenidos en la campaña 2014/2015 son aceptables dada la implantación tardía del cultivo. (Cuadro 9)

El cultivo fue afectado por la oruga de las leguminosas (*Anticarsia gemmatilis*) en estadios avanzados del período reproductivo (R4-R5). Esta plaga provoca defoliación y afecta el llenado de grano. El control biológico del hongo entomopatógeno *Nomuraea rileyi* fue total sobre la plaga.; se registró una epizootia del hongo..controlando totalmente a la plaga. Los individuos quedaron momificados y no fue necesario aplicar bioinsumos.

En el ciclo 2015/16 se implantó a principios de diciembre la variedad K3700 a razón de 480.000

	NT 623	NT525	NT 426
Rendimiento	78,5 qq/ha	54,8 qq/ha	48 qq/ha
Humedad	16,50%	17,50%	20%

Cuadro 8: Rendimientos y Porcentaje de humedad a cosecha

	2014		2015		2016	
	Vicia	Maíz	Vicia	Maíz	Vicia	Maíz
MO	4,34%	3,65%	3,51%	3,32%	2,89%	3,49%
N	0,21%	0,183%	0,20%	0,17%	0,17%	0,22%
NNO3	15,1 ppm	23,3 ppm	9,8 ppm	48,2 ppm	11,8 ppm	34,5 ppm
Pe	18,9 ppm	19,5 ppm	10,7 ppm	11,5 ppm	11,1 ppm	11,6 ppm
CIC	15,6 cmol/kg	17,3 cmol/kg	16,6 cmol/kg	15,6 cmol/kg	16 cmol/kg	16,2 cmol/kg
MG	1,2 cmol/kg	3,37 cmol/kg	4 cmol/kg	3,6 cmol/kg		1,2 cmol/kg

Cuadro 7: Análisis de suelo a la siembra de vicia y maíz.

semillas/ha. **(Foto 8)**. Este material, no transgénico, fue provisto por el semillero Kumagro. El cultivo fue afectado severamente por granizo al estado de primer par de hojas trifoliadas. Posteriormente, la parcela sufrió una fuerte infestación de capín (*Echinochloa sp.*), y fue intervenida con desmalezadora de hélice, a la altura del dosel del canopeo. El aclareo logrado fue insuficiente y la presión de malezas a cosecha determinó la trilla manual. **Cuadro 10 y 11)**

Pasturas

Las pasturas constituyen un eslabón fundamental en la rotación dado que restituyen la condición fí-

sico-química del suelo, favorecen la actividad microbiológica, aseguran el asiento de la entomofauna benéfica e incrementan los niveles de carbono orgánico del suelo. La composición florística más usada en la región es alfalfa (*Medicago sativa*) y festuca alta (*Festuca arundinacea*). El Sector Forrajeras de INTA Pergamino ha logrado importantes avances genéticos, lográndose cultivares adaptados a su zona de influencia. Entre ellos se mencionan: Alfalfa Trafal INTA; festuca Luján INTA, moha Yaguané Plus INTA, agropiro alargado Tobiano INTA, cebadilla criolla Fierro Plus INTA, trébol blanco Omega INTA. La composición utilizada en el predio es alfalfa-festuca, en un marco de plantación en



Foto 7: Espiga NT426.



Foto 8: Soja var. K3700.

	Triticale var. Yagán (2014)	Soja var. DM 48 (2015)
Fecha siembra	15 mayo	09 enero
Densidad	90 kg/ha	45 pl./m ² a 17,5 mts. e/hil
Labores	Incorporación en espigazón con disco (9-10)	Rotativa preemergencia (13-01)
Cosecha		20 abril
Rendimiento		19 qq/ha

Cuadro 9: Resultados soja DM48 2014/15.

hileras alternadas a 17,5cm. Mattera afirma que el rendimiento de forraje óptimo se registra a las distancias de 15 a 17,5 cm entre hileras, y disminuye a distancias mayores (≥ 20 cm). Estos incrementos se han explicado principalmente por un mejor aprovechamiento de la radiación disponible en el ambiente, asociado a la mejor distribución de las plantas. (Mattera, 2018). Se pueden alcanzar valores de hasta 10.000kg. de MS/ha en mezclas alfalfa- festuca. (Mattera; comunicación personal). La cosecha de forraje es por corte, confección de rollos y pastoreo animal. Para evitar el semillado de malezas se efectúan cortes de limpieza con desmalezadora de eje horizontal. Actualmente se encuentran implantadas tres pasturas.

Dos de ellas próximas a ingresar en el ciclo agrícola (años 2013 y 2014) y la más reciente del año 2017.

	2015	
	Triticale	Soja
MO	3%	3,26%
N	0,17%	0,16%
NN03	29,3 ppm	48,2 ppm
Pe	12,6 ppm	14,4 ppm
CIC	16 mol/kg	15,5 mol/kg

Cuadro 10: Análisis de suelo a la siembra de triticale y soja.

Pastura 2013 (parcela 3)

Composición: alfalfa var. Aurora gpo7 /festuca alta var. Vegas. **(Foto 9)**

Antecesor: Trigo var. Charrúa y Guatimozín.

10/05/13: Siembra a 17,5cm. Hileras alternadas: 11kg./ha alfalfa; 8kg./ha festuca.

Producción de forraje:

2013/2014: 13 rollos/ha

2014/2015: 36 rollos/ha

2015/2016: 15 rollos/ha

Producción animal en pasturas

La inclusión de la ganadería incrementa la estabilidad del sistema otorgándole mayor resiliencia. Se prefieren altas cargas y tiempos de pastoreo cortos para no afectar la persistencia de la pradera. Los índices productivos revelan diferencias en ganancia de peso en función de la época del año. Se registran los mayores valores en septiembre –primavera- y los menores en enero –verano-, en función de la calidad del forraje. Los datos se toman de una muestra de diez animales. **(Cuadro 12) (Foto 10)**

Los beneficios de esta práctica se traducen en mejoras en el manejo de malezas, aportes de nitrógeno y fósforo merced al bosteo y aumento de la biota del suelo.

Luego del pastoreo se realiza un corte con desmalezadora de hélice horizontal para uniformar el rebrote posterior.

	Triticale var. Espinillo INTA (2015)	Soja var. K3700 (2015)
Fecha siembra	18 mayo	13 enero
Densidad	100 kg/ha	48 sem./m ² a 17,5 mts. e/hil
Labores	Incorporación en espigazón con disco (9-10)	Desmalezado a 50 cm (13/01)
Cosecha		Manual 16 mayo
Rendimiento		19 qq/ha

Cuadro 11: Resultados soja K3700.

Conclusiones

El abordaje de sistemas agroecológicos extensivos constituye un desafío y una oportunidad para los profesionales de la agronomía. Para ello es prioritario un cambio de enfoque mental para arribar a propuestas tecnológicas que contemplen aspectos productivos de bajo impacto ambiental, en oposición al actual paradigma productivo basado exclusivamente en rendimientos físicos y rentabilidad.

La transición hacia estos modelos requiere de una interpretación holística del agroecosistema que conlleva mayor dedicación por su complejidad., su-
mada a la variabilidad de los escenarios climáticos a futuro.

Pastoreo	Triticale var. Espinillo INTA (2015)	Soja var. K3700 (2015)
Novillos	34	55
Carga instantánea	260,5 kg peso promedio	294,5 kg peso promedio
Duración pastoreo	25 días	18 días
Muestreo	10 animales	10 animales
Ganancia de peso	0,950 kg/cab/día	0,514 kg/cab/día
Peso final	284,25 kg	303,75 kg

Cuadro 12: Indicadores productivos parcela 3.



Foto 9: Pastura alfalfa-festuca.



Foto 10: Novillos en pastoreo

Referencias Bibliográficas

- Altieri, M. 2002. En: Agroecología "El camino hacia una agricultura sustentable" (Santiago J. Sarandón). Ediciones Científicas Americanas, 2002. 557 pp. Cap.2, pp.50. Agroecología: Principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables.
- Andriulo, A. 1996. Carpeta de Producción Vegetal Área Agronomía. INTA Pergamino. Tomo XIV, Generalidades, Información N° 147. Marzo 1996.
- Demmi, M. 1988. Proyecto Agricultura Conservacionista. Efectos de las prácticas culturales sobre algunas propiedades edáficas: de los suelos. Publicación Técnica N° 5. INTA. Octubre de 1988.
- Echeverría, H.E. 1994. Los fertilizantes en la agricultura sustentable. En: Encuentro de profesionales hacia una agricultura sostenible. Rosario, 5-6 de Octubre de 1994. pp3.
- Giuffré, L. 2008. Agrosistemas: Impacto Ambiental y Sustentabilidad. Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, 2008. 492pp.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (1972) Carta de Suelos de la República Argentina, Hoja 3360-32 Pergamino. INTA, Centro Investigación en Recursos Naturales Reconocimiento de Suelos, 1972. pp. 11, 44-46.
- INTA. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino "Ing. Agr. Walter Kugler". 1912-2012 "Un largo camino junto al desarrollo rural de la región". Comp. Edit: Iris Ballestrasse, Alfredo Calzolari, Omar Scheneiter. Pergamino, EEA Pergamino, 2012. 200p.
- Kaufman, I. y A. Ferreyra. 2016. Zonificación según ordenanza "Manejo responsable de los productos fitosanitarios" en el partido de Pergamino. Revista de Tecnología Agropecuaria, Vol 10 N° 32, Diciembre de 2016.
- Mattera, J. 2018. Sector Forrajeras, EEA INTA Pergamino. Comunicación personal.
- Papadakis, J. 1960. Revista bibliográfica. Publicación PAC N° 5. EEA INTA Oliveros, Octubre de 1988.
- Puricelli, C.A. 1985. La Agricultura Rutinaria y la degradación del suelo en la Región Pampeana. Revista Argentina de Producción Animal, Vol.4, 2: 33-48.
- Solbrig, O. 1998. Hacia una Agricultura Sustentable en la Pampa Húmeda: Resumen prospectivo. Capítulo 19 en hacia una agricultura productiva y sostenible en la pampa. Harvard University; CPIA; Orientación Gráfica Editora. 273p.
- <http://www.ruralnet.com.ar>. Abril 2018. "Claves para la implantación de pasturas base alfalfa".

CAPÍTULO 7

EVALUACIÓN DE CULTIVOS ANTECESORES DE PRIMAVERA VERANO; EN LA SUCESIÓN DE CULTIVOS HORTÍCOLAS DE OTOÑO INVIERNO Y DE PRIMAVERA BAJO MANEJO AGROECOLÓGICO



Jorge A. Ullé¹



Hector R. Martí ¹



Esteban J. Rubio²

¹ INTA. Centro Regional Buenos Aires Norte . Estación Experimental Agropecuaria San Pedro, Buenos Aires Argentina.

² INTA EEA AMBA Ituzaingo Bs As Argentina

Correo electrónico: ulle.jorge@inta.gob.ar

Resumen

El consorcio de plantas gramíneas y leguminosas, así como otras familias botánicas, consiste en una de las principales estrategias de diversificación productiva y ecológica. Su utilización en el diseño de antecesores, rotaciones, hace al estado de salud y conservación de los suelos y manejo de las pequeñas y medianas propiedades hortícolas. Las ventajas de los consorcios de plantas y sus arreglos espaciales y temporales tienen efectos favorables en las propiedades físico, químico, biológicas de los suelos. La implementación de manejos agroecológicos en sistemas hortícolas, necesita disponer de prácticas agronómicas que permitan generar grandes cantidades de biomasa vegetal (cultivo de cobertura), en pequeñas superficies en diferentes épocas del año, y que alternen con el ciclo del cultivo de hortalizas. En este capítulo se describen tópicos relacionados con estas prácticas agroecológicas, el manejo de los abonos verdes, cultivos de cobertura y los efectos que estos residuos prestan a el continuo de la materia orgánica del suelo. Aspectos como la descomposición de residuos y su aporte de nutrientes, así como los cambios provocados en la biota del suelo por aportes de residuos de cultivos de cobertura y abonos verdes son analizados a los fines de brindar criterios para la planificación de los antecesores en los sistemas agroecológicos. También la diversificación de cultivos antecesores, cultivos consociados y su ubicación en la rotación como herramientas claves de la diversificación productiva son aspectos analizados y validados por experiencias desarrolladas en ensayos de mediana y larga duración durante el período 2012 a 2017.

Palabras clave: cultivo de cobertura, consorcios, rotaciones, calidad de suelo

Summary

The association between grasses and legumes, as well as with other botanical families, is one of the main strategies of ecological and productive diversification. Its use in the design of preceding crops and crop rotations has an impact on soils health and conservation and on management of small and medium vegetable enterprises. The advantages of plant associations and its temporal and spatial arrangements have benefits for soil physical, chemical and biological properties. Agroecological management in vegetable crops systems call for agronomic practices which result in high amounts of plant biomass (cover crops) in small areas in different seasons, alternating with crops cycles. In this chapter topics related to agroecological practices, green manure handling, cover crops and the effects of its residues on the soil organic matter continuum are described. Some aspects such as residue decompositions and its effects on nutrient release, as well as changes on soil biota due to cover crops and green manure residues are analyzed to set up criteria for designing of preceding crop sequences in agroecological systems. Preceding crop diversification, associated crops and its order in the rotation as key tools for productive diversification are also analyzed and validated through medium and long term experiments between 2012 and 2017.

Keywords: cover crops, crop associations, crop rotation, soil quality

Las características agroclimáticas de los sistemas agrícolas, su estructura social productiva en la región norte de Pcia de Buenos Aires

Las características agroecológicas y socio económicas de una región son fundamentales en la definición de estrategias de uso, manejo conservación y prácticas agroecológicas asociadas a los sistemas de producción. Dentro de la gran región Norte de la Pcia de Bs As existen variados sistemas de producción, desde aquellos netamente agrícolas intensivos, agrícolas ganaderos, ganaderos y de pequeños productores hortícolas, frutícolas, y viveros. Dentro de esta región la cuenca del Río Arrecifes es una de más importante con una superficie de 1.278.000 has de las cuales 919.000 has, presentan diversos grados de erosión. En su mayoría se sitúa dentro de la fisiografía de la Pampa Ondulada, caracterizada en general por un paisaje ondulado, permitiendo el escurrimiento del exceso hídrico (cuencas abiertas) y presentando pendientes pronunciadas en el centro y en el este de la zona. En áreas planas y en épocas de altas precipitaciones se observan problemas de anegamiento por falta de drenaje con un horizonte B_{2t} con 57 % de arcilla (INTA CRBAN PTR 2005-2008). El clima de la región es templado – húmedo con una temperatura media anual de 17,1 °C, la precipitación media anual es de 1071 mm, la humedad relativa media mensual es de 75%. La fecha promedio de la primera helada agronómica es el 30 abril y la última en 09 de octubre, lo que determina un período libre de heladas, de 200 días. Los meses desde septiembre a diciembre, presentan temperaturas de suelo superiores a 15 °C (0-5 cm) con aumento del fotoperíodo, lo que posibilita la siembra e implantación de cultivos de maíz, soja, batata, sorgos, hortalizas de frutos, legumbres, tanto de primera como de segunda época. Los meses de diciembre enero presentan los valo-

res máximos de evapotranspiración por Penman de 167 y 168 mm respectivos, con períodos de sequía estival, deficiencias hídricas, que pueden afectar el rendimiento de los cultivos estivales, sin uso de riego complementario (INTA EEA SAN PEDRO, 1965-2017). Los suelos de esta sub-zona son en general arcillosos del tipo de los Argiudoles verticos con predominancias de texturas franco-arcillo-limosa a franco-limosa, con un perfil bien desarrollado. La serie de suelos predominantes se caracteriza por poseer un epipedon mólico de 25 a 30 cm. de espesor, medianamente bien provisto de materia orgánica. La transición hacia el horizonte B₂ T es gradual y suave. Este es de textura arcillosa con 56 % de arcilla y se extiende desde los 40 hasta los 130 cm. de profundidad. El pH es medianamente ácido en superficie con aptitud para numerosos cultivos. Los lotes con pendiente pueden sufrir daños por erosión hídrica si no son manejados adecuadamente (INTA, 1978). El 80% de los suelos tienen buena aptitud agrícola (clases I y II), sin embargo presentan tendencia a la degradación física química, cuando en el sistema convencional, son mal manejados por excesos de laboreos y falta de aportes de materia orgánica. Durante la década del 50 hasta el 80, la quema de rastrojos; los laboreos convencionales primarios con reja vertedera, seguido con labranzas secundarias de discos excéntricos y refinamiento de la cama de siembra con rolos desterronadores, fueron unas de las principales causa de degradación. En los años 80 la introducción de la labranza vertical, con arado cincel, la utilización de vibro-cultivadores y el uso de sistemas de labranza mínima, con disminución de labores, permitió introducir prácticas conservacionistas para control de la ero-

sión. A partir de los 90, los cultivos de granos, con el incremento de uso de herbicidas se comenzaron a realizar a través de la Siembra Directa, lo que en muchos casos llevó a la mono-cultura de soja con bajos aportes de carbono y compactación de capas sub-superficiales. Actualmente el principal problema ambiental es la degradación físico-química de suelos bajo agricultura continua realizada sin la utilización de prácticas conservacionistas y la preponderancia de modelos productivos con monocultivo de soja. Esto se traduce en balance negativo de carbono, con pérdida de la estabilidad estructural, compactación de la superficie del suelo, balance de nutrientes negativo y acidificación. Además existen riesgos de erosión hídrica, como también de contaminación del ambiente por inadecuado uso de agroquímicos, inadecuado manejo de envases de plaguicidas en producciones agrícolas e intensivas (hortalizas, frutales) y efluentes derivados del con-

finamiento animal. La intensificación de la producción aumentó los riesgos de contaminación difusa y puntual lo que puede llegar a amenazar los acuíferos. La intensificación de la producción también llevó a una pérdida de biodiversidad productiva y ecológica, en el sentido que productores de pequeñas a medianas superficies, con acervos más conservacionistas de la tierra y su patrimonio comenzaron a utilizar en sus predios paquetes tecnológicos de gran escala y en esquemas de arrendamientos de las tierras, lo que los llevó a una gran pérdida la calidad de suelos

En el caso particular de región norte de Pcia de Bs los sistemas frutícolas y hortícolas y viveros, representan casi un el 45 % correspondiente a pequeños productores de la cuenca Rio Arrecifes. Este sector ribereño del río Paraná, se diferencia por una zona de cultivos intensivos fruti-hortícolas que se extiende a lo largo de la costa del río

	Enero	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temp aire media anual (°C) 17,1	24,0	22,8	20,7	17,1	13,8	10,8	10,3	11,8	14,0	17,1	20,1	22,8
Temp.media del suelo (°C) 18,5	25,9	25,1	23,2	19,1	15,3	12,1	11,1	12,2	14,7	18,2	21,4	24,3
Precipitación media mensual (mm) 1071,4	118,3	126,3	128,2	97,7	64,6	44,2	45,7	43,2	63,6	117,4	111,5	110,7
Evaporación rea estimada mm 1090,5	168,2	127,6	104,1	61,6	36,3	23,8	28,4	48,6	74,6	108,0	142,1	167,2
Promedio días con heladas agronómicas 42,19	0,00	0,00	0,02	1,15	4,15	9,96	10,90	9,58	5,25	1,00	0,17	0,00

Tabla 1. Valores promedios de temperatura del aire, temperatura de suelos, precipitación evapotranspiración, y período libre de heladas en San Pedro, Pcia de BsAs para la serie histórica (INTA EEA SAN PEDRO, 1965- 2017).

abarcando una franja de unos 15 a 20 Km. de ancho con epicentro los partidos de San Pedro, Zárate, San Nicolás de la Pcia de Bs As. Las principales actividades agropecuarias regionales comprenden la producción de cereales, oleaginosas, carnes (bovinos, aves y porcinos). Se destaca la importante producción de hortalizas, frutas, maderas, flores y miel, así como un gran número de actividades de incipiente desarrollo, como frutales no tradicionales (arándanos, pecan), aromáticas, producciones orgánicas y diferenciadas y actividades como el turismo rural, entre otros. En estas superficies medianas a pequeñas de agricultores familiares, el manejo del suelo y su estado de salud es una variable altamente discriminante de la competitividad y la economía de sus predios (INTA CRBAN PTR 2005-2008). La introducción de principios de la agroecología y su aplicación en prácticas de rutina, hace con que comiencen más fácilmente a transitar el camino de la transición agro-ecológica, inicialmente motivados por la gran disminución de insumos químicos.

La práctica milenaria de la agricultura con abonos verdes y sus contribuciones significativas en el Cono SUR.

El hombre intuitivamente desde sus saberes en las antiguas civilizaciones de China, Oriente y Occidente (Grecia, Roma) hace más de dos mil años, utilizaron en la práctica agrícola plantas como abonos verdes cuyo objetivo era restituir la fertilidad de los suelos. En el esquema del palíndromo *Sator Arepo Tenet Opera Rotas* curioso cuadrado mágico, en un número bastante amplio de hallazgos arqueológicos esparcidos por toda Europa, se interpreta una clara mención a “*el agricultor sabio siempre hace rotaciones*” (Rossi & Donizeti, 2014). Las civilizaciones precolombinas y mesoamericanas antes de la llegada de los europeos ya habían desarrollado sistemas de plantas y cultivos, haciéndolos más eficiente en su crecimiento de acuerdo a ambientes agroclimáticos específicos y basados también en el conocimiento empírico de muchas plantas compa-

ñeras, tales como mandioca, batata, papa y el maíz (Marzoca, 1990). También en el pasaje de la Europa medieval hacia la edad moderna, la práctica más común era el cultivo de dos parcelas, una en descanso (barbecho) otra en cultivo (Andrade, 2001); pero luego con tres parcelas de cultivo, el hombre advirtió a cerca de distintas condiciones de fertilidad de los suelos y de familias de plantas que en algunas épocas, de otoño invierno o primavera verano, restituían mejor la productividad de los suelos en el tiempo. Mucho más tarde los descubrimientos científicos de la existencia de nitrógeno en el aire, Lavoisier (1743- 1794) y el mundo de la bacterias y la microbiología, Pasteur (1842- 1895), Koch (1843-1910), posteriormente demostraron, que los nódulos de raíces de leguminosas y el aislamiento definitivo de estos microorganismos, Beijerinck (1851-1931), abrieron el camino a la gran familia de leguminosas, como fijadoras del nitrógeno del aire, tanto en climas tropicales como templados. Muchos trabajos de leguminosas fueron publicados en el mundo antes y después de la primera guerra mundial en varios países, pero los nitratos materia prima en la fabricación de explosivos pasaron luego de la primera guerra a ser producidos como fertilizantes químicos aprovechando la capacidad instalada de las fábricas existentes. También la influencia de la agricultura americana de los años 50 comenzaba mundialmente a propagarse en la difusión de los llamados “paquetes tecnológicos”, lo que llevó mediante mecanización, fertilizantes, agroquímicos, selección varietal de semillas, a que muchos programas de estímulo oficial de los gobiernos, dieran subsidios a fertilizantes químicos y a interpretar esta nueva modalidad basada en insumos como la conocida base de la revolución verde (Rossi & Donizeti, 2014). Todo esto incidió en desmedro de otras prácticas y conocimientos que realizaban intenciones y agricultores con grandes aportes de materia orgánica a los suelos agrícolas y cultivos consociados que daban reales ventajas económicas al no depender de insumos externos. En el caso de climas templados en 1943, el Ing Molina en Argentina, inició el estudio de la microbiología del suelo bajo

la dirección del Profesor Santos Soriano. En esta disciplina consiguió una notable experiencia, que lo llevó a fundar la Asociación Amigos del Suelo. Desde ahí promovió una campaña para reemplazar la habitual práctica de quema de los rastrojos por su utilización como cobertura y protección del suelo. Sus investigaciones sobre procesos de descomposición de la celulosa favorables al mejoramiento del suelo fueron llevadas a la aplicación práctica en numerosos campos argentinos (País, 1994). En Argentina el Proyecto INTA de Agricultura Permanente: “desarrollo y difusión de tecnologías conservacionista” tuvo una importante expresión en la zona pampeana (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fé, Entre Ríos) promoviendo la posibilidades de utilización de sistemas de agricultura permanente basados en la utilización de abonos verdes. El mismo brindaba a los productores una serie de artículos técnicos con actualizaciones y grados de avance acerca de tipos de especies, implantación, fechas de siembra y aportes de nitrógeno. Entre las mismas se destacaban, *Lupino blanco, Vicia, Trebol de Alejandría, Trebol Persa, Trticale, Avena, Meliolumos albus*, por sus aportes en materia seca y nitrógeno (Cordone et al 1986). Muchos años después de vistos los efectos colaterales del monocultivo de soja, emergen otras publicaciones, como ej. en el *área* de Suelos Manejo y Conservación de Recursos naturales, el Boletín Informativo semestral año 1- 15/12/2017 en INTA EEA Marcos Juárez. Este boletín tiene como objetivo divulgar las novedades, vinculadas a diferentes alternativas asociadas a mejorar la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícolas y mixtos. Además presenta un claro eje en el cultivo de cobertura , aspectos de biología y calidad de suelos. Salvagiotti *et al* (Ediciones INTA, 2017) consigue aunar y compilar la obra “Ensayos de larga duración en Argentina : un aporte al logro de sistemas agrícolas sustentables”, la que otorga la posibilidad de comprender las complejas interacciones que ocurren entre el suelo, las comunidades vegetales y el clima. Según Andriulo (2017), en prologo de la edición, destaca como esta obra permite responder preguntas relacionadas con el desfase entre la

causa y su efecto, encontrar umbrales críticos, determinar tendencias cíclicas y conocer qué eventos son raros y/o extremos. Aspectos relativos a sistemas integrados, rotaciones, labranzas, cultivos de cobertura, parametros de calidad de suelos, son tópicos claves de este libro.

En Brasil tambien varios institutos públicos se ocuparon de la tematica de abonos verdes siendo el estado de Sao Pablo pionero en estas experiencias. En “Aubos verdes” (D’utra, 1919) se destaca la cantidad de ventajas de sembrar plantas acordes al clima y la naturaleza del terreno y advierte de gran cantidad de utilidades que brindan para suelos pobres. Camargo & Herrmann (1928) hace clara alusión a como los abonos verdes pueden contribuir a las “ tierras cansadas y agotadas de la agricultura”. En la decada de 60 a 70, en Brasil ya existe una clara influencia de la “revolución verde”, sin embargo en la decada de los 80 - 90 hay una clara expansión y conciencia generalizada donde institutos públicos como IAPAR en Parana (Derpsch & Callegari , 1985) y EPAGRI en Santa Catarina (Monegat, 1991) retoman fuertemente esta temática con nuevos proyectos. En la decada de 1990, incluso una importante ONG de fuerte actuación en Agroecología en Brasil: AS-PTA (Servicios a Proyectos en Agricultura Alternativa) logra compendiar (Costa, 1992) todos los avances en “Adubação verde no Sul de Brasil”, que reúne las principales experiencias de investigación, enseñanza y extensión en aspectos de cobertura de suelo y mejoramiento y mantenimiento de las propiedades físico, químico, biológicas del suelo. En 2005 EMBRAPA lanza mediante la “Coleção saber” la obra “Adubo verde com leguminosas” (Espíndola et al , 2005) y en 2008 Shiro Miyasaka del Instituto Agronómico de Sao Paulo lanza el libro “ Manejo da biomassa e do solo visando a sustentabilidade da agricultura brasileira”. Sin dudas todas estas obras dejan bien reflejada la necesidad de re-pensar los sistemas de la agricultura actual.

La tematica de abonos verdes y cultivos de cobertura tambien es muy destacada en el hemisferio norte y en especial, como principal práctica de soporte en producciones orgánicas y agroeco-

logicas. En “Covercrops for California Agriculture” (UC 1989) se analizan diferentes opciones acerca de como leguminosas de invierno, tales como *Vicia*, *Trifolium*, *Melilotus*, pueden integrarse en rotaciones anuales con sistemas irrigados. También otras como *Medicago*; *Lotus*, de diferente perennidad y duración, como se integran en sistemas de cereales y ganado. En “Agricultural Sustainability Institute UC Davis” 2017, en su apartado “cover crops” pueden encontrarse muchas citas de trabajos de investigación en este sentido.

Importancia de los abonos verdes, cultivos de cobertura y residuos, en el continuo de la materia orgánica del suelo.

La experiencia de productores y extensionistas durante muchos años ha sido comprobar cómo la incorporación de materia orgánica, puede ayudar a los suelos a mantener altos niveles de productividad en forma más sostenida que con la simple utilización de fertilizantes químicos. La descomposición de residuos de las plantas y sus raíces aportan grandes cantidades de materia orgánica a la fracción estable o humus. Las condiciones de humedad, temperatura y aireación favorecen el desarrollo de microorganismos que conducen tanto el flujo de pérdida o de respiración, así como de ganancia o humificación. Indistintamente del tipo de residuo vegetal o la naturaleza del substrato a descomponer, el producto final obtenido después de la humificación es bastante semejante en su composición (UC 1989). En sentido amplio la materia orgánica de los suelos esta constituida por un continuo que va desde los materiales vegetales frescos sin descomponer, ej hojas, hasta cadenas transformadas y estables como ácidos húmicos (Alvarez, Steinbach, 2006). En términos generales el húmus se usa para referirnos solo a la materia orgánica bien transformada de él suelo, la cuál si bien se descompone a tasas mas lentas tiene gran capacidad para mantener a los cationes de una manera que los hace disponibles para las plantas, lo

que se conoce como capacidad de intercambio de cationes (CIC). El humus tiene muchas cargas negativas y estas cargas opuestas atraen a las cargas positivas de nutrientes, como calcio (Ca ++), potasio (K +), magnésio (Mg ++). Los nutrientes liberados por los residuos también se tornan disponibles en los cultivos subsiguientes. Las condiciones de uso de los agro-ecosistemas y sus manejos agronómicos llevan a la descomposición de la materia orgánica tanto de aquellas fracciones más lábiles como de las más pesadas o estables, siendo posible actualmente separar estas fracciones por métodos granulométricos y todas ellas tienen diferentes tasas de descomposición y transformación. La materia orgánica representa una pequeña fracción en porcentaje de los suelos, em general entre 1 a 6%, pero contribuye a la estabilidad de los agregados, la porosidad, el almacenamiento de agua útil, la capacidad de intercambio catiónico (Sasal *et al* , 2000), y en especial en la disponibilidad de nitrógeno, lo que incide en los niveles de nitrógeno mineral a la siembra o inicio de cultivos. Sin embargo lá parte viva de la materia orgánica del suelo incluye una amplia variedad de microorganismos, como bacterias, virus, hongos, protozoos y algas. Incluso incluye raíces de plantas, insectos, lombrices y artrópodos más grandes, en un gradiente que vá desde pocos micrones hasta los 5 cm, los que pasan su ciclo de vida en el suelo. La parte viviente representa aproximadamente 15% de lá materia orgánica total del suelo pero las interacciones de estas fracciones con los residuos vegetales és muy grande. Por ejemplo resíduos frescos, ricos en nitrógeno, que se descomponen rapidamente proveen abundantes nutrientes al micélio e hifas de hongos que unen partículas de suelo, así como también lá secreción bacteriana de gomas hace de cementante entre partículas. Estas sustancias adhesivas producidas también por lombrices ayudan a lá unión de agregados. Esto permite estabilizar los agregados del suelo, formando grupos que hacen a la buena estructura del suelo y por lo tanto, mejoran el contenido hídrico y agua del suelo. Las raíces de las plantas también interactúan de manera significativa con los diversos microor-

ganismos y animales que viven en la tierra. Otro aspecto importante de los organismos del suelo es que establecen una lucha biológica constante entre ellos, lo que favorece la regulación funcional de variados grupos funcionales en los agroecosistemas (Magdoff & Van Es, 2009). Otros residuos de menor contenido de nitrógeno se descomponen más lentamente y favorecen las características físicas, la elasticidad del suelo mejorando la infiltración y aireación. Una multitud de microorganismos, lombrices de tierra e insectos obtienen su energía y nutrientes al descomponerse residuos orgánicos en los suelos. Al mismo tiempo, gran parte de la energía almacenada en los residuos es utilizada por los organismos para hacer nuevas moléculas químicas, así como nuevas células. La fotosíntesis permite a las plantas acumular gran cantidad de sustancias carbonadas, y también algunas como las leguminosas pueden fijar nitrógeno atmosférico en los nódulos de sus raíces. La dinámica de los residuos de plantas implica conocer la dinámica de la descomposición y el ciclado de nutrientes. En el caso de leguminosas que son plantas de baja relación C/N, la tasa de descomposición es alta y la rapidez hace que exista gran liberación de nutrientes y de nitratos en el proceso. Otras plantas como las gramíneas de más lenta descomposición en algunos casos permiten calcular mejor el sincronismo entre la liberación de minerales de los residuos y la absorción del cultivo subsiguiente.

Posteriormente la mineralización es el proceso como es denominado la transformación de los componentes de los residuos orgánicos en los inorgánicos y a su vez esto implica procesos de respiración microbiana, como de síntesis y resíntesis de otras sustancias orgánicas.

Otro factor importante determinante en la transformación de los residuos en materia orgánica es el factor climático ya que en climas tropicales, la posibilidad de aportes de biomasa aérea es más importantes y continua durante todo el año, mientras que en climas templados existe mayor estacionalidad en la producción de cultivos. La temperatura, humedad y diferentes aportes de materia orgánica al

sistema determinan también las velocidades a que los residuos se descomponen, se acumulan o transforman en el suelo. En el **Tabla 2**; adaptado de Paul y Clark (1996), se observa en tres agroecosistemas diferentes, que para un peso de suelos bastante semejante en términos de capa arable, las reservas de carbono y nitrógeno entre el clima tropical Brazil y más templado de UK son bastantes semejantes, pero siendo mucho más altas en el clima más frío de Canadá (65 Mg/ha vs 26 Mg/ha). Sin embargo en el clima tropical el input de carbono en aportes de vegetación es mayor (13 Mg/ha/año vs 1,2 Mg/ha/año) y con una capacidad de recambio de la biomasa microbiana en el tiempo o "turnover microbiano" mucho más rápido (0,24 años vs 6,8 años). En las dos últimas filas se observa el mayor flujo de nitrógeno a través de la biomasa microbiana (350 kg/ha/año vs 34 kg/ha/año) y la mayor extracción por parte del cultivo (220 kg/ha/año vs 24 kg/ha/año) en el cultivo de caña en Brasil.

La descomposición de residuos y su aporte de nutrientes

Según (Aita *et al*, 2014) en los sistemas agrícolas los residuos culturales, de cultivos comerciales, plantas espontáneas y abonos verdes o de cultivos de cobertura, constituyen la principal fuente de energía y nutrientes para los organismos del suelo. Los microorganismos heterotróficos de la biota del suelo toman los nutrientes de los residuos y a su vez también van descomponiendo a los mismos. Dentro de los principales factores abióticos, los sistemas de labranza y métodos de preparación del suelo condicionan la velocidad con que los residuos se transforman y descomponen en el suelo. Del punto de vista de la velocidad de descomposición de residuos, si la misma es muy rápida y a tasas muy elevadas puede implicar pérdidas de nutrientes que no pueden ser adsorbidos en la matriz coloidal del suelo. Por otra parte una velocidad de descomposición lenta en la sucesión de cultivos puede impedir una disponibilidad inmediata, lo que lleva a la ne-

cesidad de aumentar el uso de nutrientes por otras vías de aporte externos. Por eso en la planificación de antecesores es necesario trabajar con varios grupos o familias de plantas de abono o cobertura en el tiempo o espacio, en la medida de poder sincronizar la liberación de nutrientes necesaria, la cinética de absorción de los cultivos subsiguientes y el mantenimiento de la cobertura de suelo deseable por varios motivos que hacen a la regulación funcional del sistema agrícola. Incluso la inclusión de plantas de variadas características en cultivos en consorcio es uno de los grandes desafíos para promover el ciclado de nutrientes y complementar la fijación biológica en algunas épocas (ej, leguminosas) y el incremento de biomasa en otras (gramíneas). También es importante tener presente que la descomposición de residuos es llevada a cabo por grupos de enzimas presentes en los microorganismos de la biota del suelo que actúan sobre los compuestos orgánicos acumulados por las plantas durante la fotosíntesis, que luego son residuos. Esto lleva a los residuos en los suelos a ser sometidos a dos vías, una catabólica de acumulación de energía en la transformación de nuevas cadenas carbonadas, hasta la producción final de CO₂ y otra anabólica donde una parte de los compuestos modifica-

dos por descomposición también se incorporan a la biomasa microbiana, para formar nuevas células, las que en su parte final de la transformación forman compuestos estables o sustancias húmicas. Los macronutrientes carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), todos forman parte de estructuras y moléculas orgánicas y en este balance entre respiración o humificación se liberan al medio cantidades importantes de NH₃, PO₄, SO₄, proceso conocido como mineralización. Es decir que además de la importancia de factores climáticos, la naturaleza del sustrato a descomponer y los factores físicos cuanto al tamaño de partícula hacen a la susceptibilidad del ataque microbiano. Por ejemplo el tipo de fraccionamiento y acondicionamiento mecánico que se haga del residuo orgánico con las maquinarias (ej, rolos, desmalezadoras, discos), influenciara en mayor o menor medida la tasa de descomposición. También el efecto no es solo mecánico, sino también existe un fraccionamiento biológico por parte de la fauna de suelo, insectos, ácaros, artrópodos que cortan el material haciéndolo más disponible al ataque microbiano, del cual participan hongos y bacterias. Otro importante factor es la calidad del residuo, cuanto a su composición química, en la predominancia en el tejido vegetal de polisacári-

Determinación	UK	Canada	Brasil
Peso de capa arable Mg/ha	2200	2700	2400
Carbono orgánico Mg/ha	26	65	26
C inputs Mg/ha/año	1.2	1.6	13
Turnover de carbono del suelo (años)	22	40	2
Carbono en la biomasa microbiana kg/ha	570	1600	460
Nitrogeno en la biomasa microbiana kg/ha	95	300	84
Turnover microbiano (años)	2,5	6.8	0.24
Flujo de nitrógeno en la biomasa microbiana kg/ha/año	34	53	350
Extracción de nitrógeno por cultivo (kg/ha/año)	24	40	220

Tabla 2: Carbono y Nitrógeno “turnover” en tres diferentes ecosistemas, Rothamsted UK en trigo continuo sin fertilización, Wester Canadian en barbecho desnudo de trigo y caña de azúcar en Brasil. Adaptado de Paul & Clark (1996)

dos, celulosa, hemicelulosa, ligninas, proteínas, sustancias solubles, azúcares, aminoácidos. Por último es determinante la composición bioquímica del residuo en relación al momento fenológico y la edad de planta. En general cuanto más próximo a él final del ciclo vegetativo, presentan mayores porcentajes de celulosa y lignina en su composición (Wagner *et al*, 1989). A medida que disminuye el tenor de compuesto solubles y nitrogenados, y aumenta la lignina existirá menor tasa de descomposición de los residuos, por eso las plantas jóvenes liberan más nutrientes y dejan menor acumulación de residuos en el tiempo. La elección de un cultivo antecesor presenta siempre soluciones de compromiso cuanto el efecto esperado de liberación de nutrientes para el cultivo subsiguiente y la cobertura residual que pueda dejar efectos benéficos al suelo en el tiempo. La lignina es reconocida como una sustancia recalcitrante, lo que se debe a la estructura de anillos aromáticos de difícil ataque microbiano, pero puede jugar un rol fundamental en suelos degradados que necesitan recuperar o heredar nuevamente propiedades físicas deseables, a través de un acúmulo constante de materia orgánica de más lenta descomposición. Otro grupo químico de importancia en los estadios fenológicos avanzados de las plantas lo constituyen los polifenoles, que pueden complejar el nitrógeno evitando pérdidas y a su vez liberando metabolitos secundarios que previenen el ataque de herbívoros o patógenos. Por ello la elección del cultivo antecesor de cobertura, no solo implica conocer la relación carbono/nitrógeno del material, sino también tener en consideración las características estructurales químicas y bioquímicas del material vegetal una vez cortado o incorporado. En relación con esto Holland & Coleman (1987) verificaron que la proporción de hongos y actinomicetes en la biomasa microbiana, era superior a la de bacterias, cuando los residuos eran cortados y dejados en superficies. Cuando los residuos son incorporados el mayor contacto del material, vegetal, suelos, favorece a los microorganismos, consumiendo más nitrógeno de forma mineral del suelo. De todas las variables la velocidad

y su tasa de descomposición también estarán muy relacionadas con la naturaleza y características del sustrato. Sin embargo la mayoría de los estudios de la descomposición son realizados en macetas o invernáculos, y en la condición de campo, existen otras interacciones con las plantas de cultivos, que crecen luego o dentro de la cobertura de residuos e influyen también la velocidad de descomposición del sustrato.

Los cultivos presentan grandes necesidades de macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), y más de un 90% de los mismos se encuentra en complejo con moléculas orgánicas, siendo solamente la pequeña fracción mineralizada por los microorganismos la disponible a las plantas (Camargo *et al*, 1989). La mineralización de nitrógeno del suelo y residuos es una vía tan importante en términos de aportes e incluso a veces superior a la fijación de nitrógeno. La cantidad de material remanente en cobertura de otoño invierno también es muy variable con las familias botánicas. En general las leguminosas como vicia y arveja, disminuyen hasta un 60% en términos de materia seca luego de 30 días de permanencia en el campo, mientras que para el mismo período aún 90% de la materia seca de gramíneas como avena están presentes. Muchos estudios analizaron la tasa de descomposición, la liberación de nutrientes y el efecto en cultivos subsiguientes (Aita & Giacomini, 2003). De modo general el consorciar plantas de leguminosas y gramíneas resultó en los mejores efectos comentados, como así en una menor pérdida de nutrientes por lixiviación. Incluso en experimentos de largo plazo Zanatta *et al* (2007), después de 18 años de aportes en la secuencia de consorcios, avena-vicia, seguida de maíz-cuapí, esto llevó a aumentos del stock de carbono total de 2 tn/ha respecto de los testigos. Como conclusión cualquier planificación de cultivos antecesores debe tener en cuenta la composición de la fracción orgánica de los residuos y la dinámica del carbono en los diferentes tipos de climas y suelos. Intensificar los estudios de consorcios de leguminosas con gramíneas favorecerá una gran cantidad de interacciones bio-

lógicas así como una disponibilidad sostenida de nutrientes en el tiempo.

Cambios importantes en la Biota del suelo por aportes de residuos de cultivos de cobertura y abonos verdes

Según Mascarenhas & Wutke (2014) los abonos verdes o cultivos de cobertura son una práctica eficaz como aporte de materia orgánica al suelo, ya que tanto en extensas áreas de cultivos como en pequeños agricultores realizan aportes elevados de macronutrientes debido el tenor de compuestos orgánicos e inorgánicos en su biomasa verde. En el caso de leguminosas esto se ve acrecentado por la fijación biológica de nitrógeno, a través de bacterias formadoras de nódulos en los sistemas radiculares, los que a su vez extraen nutrientes de los horizontes sub-superficiales absorbidos en las capas más profundas y los liberan en superficies cuando los residuos son descompuestos. El uso de especies de cobertura de suelos en sistemas agrícolas se ha tornado un factor clave en mantener la calidad de suelos y propiciar efectos favorables y medibles en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. La repercusión en la acumulación de materia orgánica tiene efectos deseables en los cultivos subsiguientes (Roscoe *et al*, 2006; Ferreira *et al*, 2012; Correa *et al*, 2014; Carvalho *et al*, 1999). Según Gomes da Silva *et al*, 2015, el carbono de la biomasa microbiana constituye un reservorio importante de nutrientes disponibles para las plantas representando la fracción más activa de la materia orgánica. Esta es responsable por la descomposición de residuos orgánicos, debido a su importancia en el ciclado y flujo de energía dentro del suelo (Cunha *et al*, 2011). Algunas coberturas verdes pueden favorecer mejor el desarrollo de la biomasa microbiana, brindando al suelo un estado de salud en analogía a lo que sucede con esta variable en ecosistemas naturales sin disturbios. En suelos sobre monte, pastizales, vegetación nativa, los valores de biomasa microbiana son altos, en la medida que son sistemas en que su forma inalterada, no pre-

sentan situaciones de stress, en lo cual la biomasa microbiana, es un indicador sensible. La utilización de leguminosas como fuente de abonos verdes ha sido muy utilizada en sistemas agroecológicos, promoviendo cambios significativos en la biomasa microbiana del suelo, su actividad y sus valores de referencia pueden en casos aproximar a los tenores encontrados en sistemas de vegetación nativa inalterados (Duarte, *et al*, 2014; Gomes, *et al*, 2014; Merlin, *et al*, 2005). Los efectos de las especies de cobertura en la biomasa microbiana de suelo son diferentes entre si (Balota, *et al*, 1998) y a pesar de su importancia, poco se sabe aún de la interferencia de la cobertura en la actividad de la biomasa microbiana del suelo. La proporción de leguminosas y gramíneas consociadas en diferentes mezclas de cultivos de cobertura, puede hacer también variar las comunidades y poblaciones de microorganismos por los diferentes tipos de sustratos. Otro indicador sensible son los coeficientes metabólicos que expresan la relación de C respirado / C en Biomasa, el cual es un indicador sensible al aumentar porque expresa mayor respiración de CO₂ por unidad de carbono, incremento que no es deseable, ya que implica menor retención de carbono en la biomasa de microorganismos y menor posibilidad de captura en la materia orgánica del suelo. Duarte *et al* (2014) en experimentos de diferentes coberturas de leguminosas de especies utilizadas como abonos verdes: *crotalaria* (CJ), *feijão-de-porco* (FP), *mucuna-preta* (MP), *milheto* (MI) y *gandu* (G), comprobó que los coeficientes metabólicos del suelo en CJ y FP se asemejaban a la vegetación natural (VN), siendo todos estos a su vez menores a las situaciones de barbecho (B) de mayores valores, lo que indicaba suelos más perturbados o en estado de stress. También en otro experimento encontró que las mezclas y consorcios de gramíneas y leguminosas entre MP y MI no siempre llevaban a situaciones de menores coeficientes metabólicos y estabilidad, presentando MP sola menores coeficientes metabólicos que MI milheto, lo que demuestra la importancia de muchas leguminosas en incrementar la biomasa microbiana y evitar situaciones de stress provocadas por largos barbechos descubiertos. Qi-

Song *et al* 2016 ; en un sistema de cultivos intercalados de maíz con maní encontraron ventajas de rendimientos significativos respecto de monocultivos. Además los microorganismos del suelo se vieron afectados por las plantas y el diseño de cultivos consociados. En un experimento de maíz/maní evaluaron el cambio en la rizosfera y la composición de la comunidad microbiana, su relación con las actividades enzimáticas y las comunidades microbianas del suelo a través de ácidos grasos en fosfolípidos (PLFA). Encontraron en los consorcios valores más altos de disponibilidad de nutrientes en nitrógeno y fósforo, actividades enzimáticas, ureasa y fosfomonoesterasa del suelo. Los hallazgos sugieren que las interacciones subterráneas en el sistema de cultivos intercalados de maíz/maní desempeñan un papel importante en el cambio de la composición microbiana del suelo y la especies microbianas, que están estrechamente relacionadas con la mejora de los nutrientes nitrógeno y fósforo disponibles en el suelo y las actividades enzimáticas. En ensayos de campo Thomazini *et al* (2015) investigaron los efectos de los sistemas de hortalizas orgánicas con labranza cero sobre los cambios en la materia orgánica del suelo. La rotación de cultivos comprendió una secuencia de cultivo de 3 años que implicaba dos cosechas por año: repollo (*Brassica oleracea* L.) en invierno y berenjena (*Solanum melongena* L.) en verano. Los tratamientos fueron la labranza cero con mantillo de gramíneas (*Avena strigosa* Schreb y *Zea mays* L.), leguminosas (*Lupinus albus* L. y *Crotalaria juncea* L.), cultivos intercalados de gramíneas y leguminosas y labranza convencional (sin mantillo muerto) con azada rotativa dispuestos en un diseño de bloques. Después de 3 años el carbono orgánico total varió de 34.94 a 50.48 g kg⁻¹ en cobertura de gramíneas y leguminosas y en laboreo convencional cambio de 27.11 a 43.74 g kg⁻¹. Encontraron mayor cantidad de C en el mantillo de cultivo consociado y en la labranza convencional valores menores de C lábil mientras que el C recalcitrante fue más alto en el tratamiento consociado. Según Cunha *et al* 2011, el mayor valor de CBM en áreas de vegetación inalterada en montes y pastizal,

es un reflejo de una gran diversidad de sustratos, que permite una intervención de microorganismos y microfauuna de modo asociado. La mayor cantidad de CBM refleja la presencia de mayor cantidad de materia orgánica activa en el suelo, capaz de mantener elevada a tasa de decomposición de los restos vegetales y por lo tanto reciclar más nutrientes que se aporta en estos sistemas. Sin embargo en las vías posteriores a la descomposición, pueden intervenir otros factores bióticos, abióticos, antrópicos, que hagan que favorezcan que esta biomasa activa sea incorporada a la materia orgánica del suelo o respirada con altos output de salidas de CO₂ del sistema. De modo general en gran cantidad de trabajos y bibliografía, la ventaja de consociar gramíneas y leguminosas, no solo estaría en favorecer una mejor descomposición del sustrato antes del cultivo subsiguiente, sino también favorecer un desarrollo mayor de la biomasa microbiana, que al ser menos respirada baja los coeficientes metabólicos del suelo. El sistema así presenta un gasto de energía basal menor de mantenimiento que le permite aumentar y cumplir mejor muchas funciones en el reciclado de nutrientes.

Diversificación de cultivos antecesores y cultivos consociados como herramientas claves de la diversificación productiva y su ubicación en la rotación.

En sistemas agroecológicos en transición la disponibilidad de nitrógeno puede ser limitante y lleva a los cultivos de granos a disminuir el potencial de producción y la concentración de proteínas. Este proceso aún es más intenso, en ausencia de rotaciones ganaderas, por ello la integración de leguminosas en rotación con sus residuos de alta descomposición y su mecanismo de fijación de nitrógeno permite mejorar el balance y provisión de este nutriente. La práctica habitualmente llamada en la literatura como "intercropping" o cultivos consociados o compañeros por los mismos agricultores, es una práctica que hace a la multifuncionalidad de

estos sistemas y permite la mejora de rendimientos (Bedoussac *et al* 2014). También las ventajas de estos reconocidos diseños agronómicos hoy adaptados a los problemas de la agricultura actual, brindan una herramienta más en la planificación de rotaciones, mejorando la conservación del suelo, favoreciendo la supresión de plantas malezas competidoras y patógenos, ayudando a incrementar la resistencia horizontal a patógenos y muchos otros procesos de regulación. En climas templados el otoño invierno y la primavera verano, son dos estaciones bien marcadas en la vida del suelo, con sus correspondientes picos de actividad biológica. La demanda de nitrógeno en cultivos de granos de invierno en épocas frías puede incrementarse, por el bajo ritmo de mineralización del suelo. El aporte de abonos orgánicos compostados en la época fría puede suplir los déficit pero con consiguientes problemas de lixiviación de nitratos, sin embargo consociaciones como el trigo y arveja, (*Triticum aestivum* y *Pisum sativum*), han conseguido alcanzar rendimientos en grano y proteína similares a aquellos realizados en monocultivo con fertilizantes de síntesis. La complementariedad interespecífica de estas consociaciones de gramíneas y leguminosas con arquitectura diferentes de cultivos y ciclos de vida, hace que mejoren factores como la interceptación de luz, con un incremento de biomasa en el canopeo y mayores rendimientos de ambos. Una hipótesis formulada dice que las legumbres son forzadas a ser más eficientes en la fijación asimbiótica del nitrógeno en la medida que los cereales demandan y compiten intensamente por el nitrógeno mineral del suelo, en especial en las capas superficiales de los horizontes del suelo, donde la fijación es mayor. También otra explicación es que la complementariedad de cultivos actúa más eficientemente en situaciones de suelos de baja disponibilidad de nitrógeno mineral, más frecuentes en el inicio de los sistemas agroecológicos en transición. De una u otra forma la transferencia de nitrógeno de la leguminosa a la gramínea puede significar hasta un 15% del nitrógeno de cultivos en consociación de cebada y arveja. Las gramíneas también brindan en esta consociación, efectos

favorables en la medida que las leguminosas no son buenos competidores de malezas y espontáneas, y bajas proporciones de especies como la cebada en las mezclas, brindan por su rústidad mejor competencia por recursos. Nitrógeno y luz son dos importantes factores que dan mejores resultados en la consociación de gramíneas con leguminosas que en sus monocultivos respectivos. La complementariedad y exploración de nichos, espaciales, temporales y fisiológicamente distintos, también está muy registrada en climas subtropicales y en cultivos estivales, ejemplos como consociaciones de mandioca y maíz, maíz y caupí son frecuentes y consisten en la base de sistemas agroecológicos de agricultura familiar con plantas de C3 y C4 integradas a sus sistemas de cultivos (Silveira *et al*, 2002). Estos amplían la diversidad biológica, la oferta alimentaria y los recursos financieros de pequeñas propiedades y en el caso especial de especies como *Phaseolus vulgaris*, de nombre común poroto o frijol, presentan buena adaptación y tolerancia a crecer en consorcio con especies como, maíz, mandioca, caña de azúcar debido a su ciclo corto. El bajo punto de saturación lumínica de *Phaseolus* le permite adaptar su producción aún con 1/3 de la luz solar máxima y hay fuertes indicaciones que aseveran que la reducción de la tasa respiratoria, es el factor primario que le permite adaptarse al sombreado. Según Lopes *et al* (1982) la planta de Poroto o caupí, se adapta a condiciones de sombreado incrementando el área foliar, a pesar de su menor acumulación de materia seca y promoviendo tallos más largos en razón del aumento del nivel de auxinas. En términos generales en consorcios con maíz, (Vieira, *et al* 1980) en diferentes densidades de 20 a 60 mil plantas, las respuestas adaptativas varían poco con los diferentes cultivares y localidades y los rendimientos de maíz no se ven afectados en el consorcio, mientras que *Phaseolus*, si se ve comprometido sus rendimientos solo en altas densidades de maíz. De modo general, a pesar de los diferentes arreglos de espacios en una o dos hileras de por medio, las altas densidades de maíz superiores a 60.000 plantas/ha no permiten aprovechar las ventajas del consorcio,

de igual forma que las densidades superiores a 120.000 plantas de *Phaseolus* en consorcio disminuyen los rendimientos. Otras leguminosas también pueden ser combinadas entre las hileras de cultivos de verano como maíz, y otras hortalizas. La *Mucuna sp*; la *Canavalia*, el *Guandu* y algunas variedades de *Glycine*, aumentan la disponibilidad de nitrógeno, lo que impacta favorablemente en los rendimientos de maíz. Estas plantas de cobertura pueden ser sembradas a partir del estado de cuatro a ocho hojas del maíz o en la entrefila o hileras de por medio. En una experiencia (Da Paz *et al*, 2017) se constató que los arreglos de cultivos consociados con leguminosas tales como; maíz con *Canavalia ensiformis*; maíz con *Crotalaria juncea*; maíz con *Mucuna*, maíz con *Vigna unguiculata* sembrados 30 días después de la siembra de la cultura principal de maíz no afectaron los componentes del rendimiento de maíz con relación al monocultivo de maíz. Las variables evaluadas altura de plantas a los 60 días después de siembra de maíz, inserción y tamaño de la espiga, cantidad de hileras de granos por espiga, peso de 100 granos y la productividad (kg ha⁻¹), no afectaron el desempeño de maíz y el maíz consociado con *Crotalaria juncea* alcanzó mayor productividad en relación al monocultivo de maíz. Muchos ejemplos agrícolas sugieren que la diversificación puede jugar un papel fundamental en el agroecosistema, pero la mayoría de estos ejemplos son de comparaciones o rotaciones en sistemas agrícolas tropicales y de agricultura familiar, donde especialmente los cultivos consociados juegan una importante función. Sin embargo en agricultura de más larga escala, mecanización y rotaciones, son más complejas y otro importante aspecto en la diversificación, es considerar como aumentan el número de especies en el tiempo, es decir como a partir de monocultivos incrementar las secuencias de otros cultivos claves y cultivos puentes de cobertura verde durante la rotación. El concepto clásico de la rotación agrícola de granos y pasturas, jugó un rol destacado en mantener la fertilidad del suelo. Pero a su vez Smith *et al* (2008) encontraron que la alternancia en la rotación de

cultivos agrícolas maíz, trigo, soja, sumado a cultivos puentes de cobertura de gramíneas y leguminosas de *Trifolium pratense*, *Trifolium incarnatum*, *Secale cereale L* en diferente intensidad, permitió ventajas importantes al cultivo de maíz que presentó rendimientos superiores al monocultivo, con aprovechamiento eficiente del nitrógeno, y efectos supresores sobre la biomasa de malezas. En este experimento las leguminosas, demostraron un rol clave como cultivos puentes, al final de los ciclos de maíz y soja. Las leguminosas tuvieron efectos particularmente importantes sobre las funciones del agro-ecosistema que influyeron en los rendimientos del maíz, suponiendo que las mismas pueden tener aún mayor potencial para influir en el ecosistema en procesos de regulación de sistemas agrícolas donde grandes cantidades de nitrógeno se exportan anualmente a través de la cosecha. La diversificación de cultivos en las rotaciones también podrían ser una alternativa viable para promover retroalimentaciones positivas entre la biota del suelo y las propiedades del suelo. D'Acunto *et al* 2018 investigaron el impacto de la diversificación de rotaciones de cultivos en la composición funcional y la diversidad de las comunidades bacterianas heterótrofas del suelo. Estudiaron tres rotaciones frecuentes con un número total de cultivos que fueron desde dos hasta cuatro. Antes del experimento, todas las parcelas se cultivaron con soja. En el primer experimento las secuencias de cultivo fueron (1) barbecho / soja, (2) cebada / soja y (3) arveja / maíz. En el segundo año, todas las parcelas fueron sometidas a una doble cosecha de trigo / soja. La rotación más diversa fue arveja/maíz, trigo/soja, mostrando la posición más alta en biomasa y residuos y la comunidad microbiana del suelo más metabólicamente diversa y activa. Los resultados revelaron que la rotación de cultivos afecta la diversidad y actividad bacteriana metabólica del suelo. La rotación más diversa (cuatro cultivos diferentes) tenía también los microorganismos más diversos y activos en la biota del suelo, concomitantemente con una mayor producción de biomasa vegetal y pH del suelo.

Modelos de crecimiento y sistemas de producción : el caso del cultivo de Batata

La batata es una especie que se adapta a numerosos sistemas de producción. Es rústica, se ajusta a diferentes condiciones ambientales, y rinde aceptablemente en sitios donde otros cultivos necesitan fertilizantes para prosperar. Se lo considera un cultivo amistoso con el medio ambiente, pues cubre rápidamente el suelo protegiéndolo de la erosión, puede cultivarse sin el uso de agroquímicos, y al cosecharse se incorpora la parte aérea al suelo, lo que constituye un importante aporte de materia orgánica que ayuda a mantener la fertilidad (Martí, 2008). Todo ello, sumado a sus altas propiedades nutritivas y saludables lo hacen un cultivo ideal para planteos de bajos insumos y/u orgánicos. La gran adaptabilidad de la batata a diferentes situaciones se debe en parte a su amplia variabilidad en la mayoría de sus caracteres. La batata tiene tres fases de crecimiento (Martí et al., 2014). En la primera fase o implantación (desde el inicio del cultivo hasta 15 días después de la plantación) se produce el crecimiento radicular y se desarrollan raíces adventicias que fijan la planta al suelo. En esta fase se define el número final de batatas, que dependerá de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, relación K/N y oxigenación). En la segunda fase o de crecimiento foliar, se registra un mayor crecimiento de la parte aérea sobre la radicular y comprende el periodo desde el fin de la primera fase hasta la mitad del ciclo. Al final de esta fase aproximadamente el 60% de la materia seca está distribuida en la parte aérea, y el 40% restante en la radicular. La tercera fase es la de formación de las batatas o engrosamiento de las raíces de reserva, y se completa en la última mitad del ciclo del cultivo. Al final de esta fase se invierte la relación de distribución de la materia seca: 60% se encuentra en las raíces tuberosas, y 40% en hojas y tallos. Sin embargo, debido a la alta variabilidad mencionada anteriormente, diferentes cultivares pueden tener diferentes longitudes de ciclo y hábito de crecimiento, haciéndolos más o menos favorables para

diferentes sistemas de producción. De acuerdo a su ciclo de crecimiento, los cultivares de batata se pueden clasificar en cortos o tempranos (12 a 17 semanas de trasplante a cosecha), medios (17 a 21 semanas) y largos o tardíos (más de 21 semanas) (Ravi and Indira, 1999). Dentro de estos tipos hay a su vez diferencias en el patrón de crecimiento de la raíz tuberosa. Los cultivares de alto rendimiento tienen una alta tasa de crecimiento ("llenado") de la raíz tuberosa durante un período de tiempo largo, mientras que los cultivares de rendimiento mediano a bajo la alta tasa de crecimiento se da solo en un período corto de tiempo; o bien tienen una tasa de llenado baja durante un período largo de tiempo.

Sistemas de producción

Por ser un cultivo rápido, y capaz de producir grandes cantidades de materia seca por unidad de área, la batata es utilizada en el mundo en numerosos sistemas de producción. En algunos casos la batata se utiliza en rotaciones, o para controlar la erosión, o para alimentar animales, e incluso como abono verde. Los principales sistemas de producción de los que participa la batata son los siguientes (Nedunchezhiyan et al., 2012).

Rotaciones

La batata es utilizada en diferentes sistemas de rotaciones con otros cultivos, ya sea para reducir la incidencia de plagas animales y enfermedades, para aprovechar diferentes condiciones climáticas, para manejar la fertilidad del suelo, etc. En China, la batata es rotada con trigo, cultivándola en verano cuando las lluvias no son suficientes para trigo pero sí para batata. En Taiwán la batata es parte de un sistema de rotaciones con arroz, caña de azúcar y maní o soja. En ese sistema la batata es plantada un mes antes de la cosecha del arroz ("relay cropping"). En otros países como Indonesia y la India también

es rotada con arroz. En Japón los mismos autores destacan que la batata en rotación con *Lolium multiflorum* aumentaba su rendimiento probablemente por el mayor contenido de potasio del suelo luego del cultivo de *L. multiflorum*. En India el cultivo de batata entre dos ciclos de arroz contribuye a reducir la infestación del taladrillo de la batata (*Cylas formicarius*), la plaga animal más importante de la batata a nivel mundial. En Nigeria se determinó que la rotación con poroto mucuna (*Mucuna spp.*) aumentaba el rendimiento de batata luego de dos ciclos de mucuna. En Papua Nueva Guinea la rotación de batata con maní y poroto alado (*Psophocarpus tetragonolobus*) contribuye a mantener la fertilidad y reducir plagas y enfermedades. En Argentina, en el noreste de Buenos Aires es común rotar la batata con trigo, soja, maíz, y sorgo de escobas. Este último en algunos casos es utilizado como abono verde (Gonzalez et al., 2009). En el mismo estudio (Gonzalez et al., 2009) se determinó que el cultivo antecesor (Soja, maíz, trigo, sorgo de escobas o abono verde) no afectó el rendimiento ni el contenido de nutrientes del suelo y las hojas de la batata. En Tucumán se está difundiendo entre pequeños productores la rotación con caña de azúcar o tabaco (Cusumano y Zamudio, 2013).

Cultivos intercalados

En diversas partes del mundo, especialmente en África, Latinoamérica y el Sudeste asiático, es común el cultivo de batata intercalado con otras especies, principalmente por pequeños productores (Nedunchezhiyan et al., 2012). Con el intercalado se busca aumentar la productividad (y la rentabilidad) por unidad de área, aunque el rendimiento de los cultivos individuales pueda bajar comparado con el que se obtiene cultivándolos solos. También se pretende disminuir el riesgo de pérdida por contingencias climáticas o ataque de plagas animales y enfermedades. En algunos casos los cultivos intercalados proveen una mejor cobertura y el sistema contribuye a evitar la erosión del suelo. En otros

casos la asociación de cultivos permite controlar mejor alguna plaga de uno de ellos. Por ejemplo, intercalada con maíz, la batata logró aumentar la población de un insecto que es enemigo natural de una plaga del maíz (Nafus and Schreiner, 1986); mientras que en otro trabajo (Yaku, 1992), al intercalar batata con maíz, soja, y ambos a la vez se logró disminuir el número de tubérculos dañados por el taladrillo de la batata (*Cylas formicarius* (F.)), y se aumentó la diversidad de insectos benéficos. Por su parte, Byamukama et al. (2007) hallaron que el número de moscas blancas (*Bemisia tabaci*), vectores de virus que causan una importante enfermedad, era menor cuando se intercaló batata con maíz, comparado con el obtenido cuando se cultivó batata sola. El intercalado de cultivos requiere un manejo muy ajustado de las labores para que las efectuadas en un cultivo no perjudiquen al otro. La batata se intercala con muchos cultivos en diferentes partes del mundo (Nedunchezhiyan et al., 2012): taro, ñame, mandioca, tomate, poroto, maíz, etc. Se han reportado casos de rendimientos de batata menor, igual o mayores al intercalarla con otros cultivos. Byamukama et al. (2007) determinaron que el intercalado de maíz con batata no disminuyó el rendimiento de ninguno de los dos cultivos.

Ossom y Nxumalo (2003) reportaron que los rendimientos de caupí, maní o poroto disminuyeron al ser intercalados con batata, mientras que los de batata hicieron lo propio, salvo cuando se intercalaron con maní, con el que registraron un aumento del 9%. Alhassan (1988) halló que tanto la consociación con maíz como con caupí disminuía el rendimiento de batata, y el efecto era menor con el maíz. En asociaciones con soja la batata disminuyó más del 50% de su rendimiento cultivada sola, independientemente de la variedad (Engbe y Osang, 2015). También se mencionan beneficios logrados al intercalar batata con otros cultivos, como mantener la humedad del suelo y agregarle materia orgánica. Cuando se la intercala entre surcos de maíz actúa como un "mulch", minimizando la evaporación del suelo, disminuyendo el escurrimiento superficial o incrementando la infiltración

(Nedunchezhiyan et al., 2012). En otros casos se ha mencionado que otros cultivos (arroz, mijo, maíz, guandú) intercalados con batata rindieron más que cuando se los cultivó solos (Nedunchezhiyan et al., 2012). La densidad y la geometría de la plantación son importantes para lograr mejores resultados. Es necesario ajustar la densidad y el espaciamiento de los cultivos para disminuir la competencia. Generalmente hay que plantar a la batata y el cultivo asociado a menor densidad, pero esto se debe determinar para cada situación (ambiente) en particular. Por ejemplo, en África se halló que la más alta “relación equivalente de suelo” (LER en Inglés, por Land Equivalent Ratio) en la asociación de batata con maní se daba bajando la densidad habitual para batata (Ossom *et al.*, 2009). Islam *et al.* (2014) demostraron que el rendimiento de batata y maíz asociados depende de la distribución espacial en el suelo, siendo mayores cuando la distribución lograba una mayor iluminación de la batata, y que esta permitía reducir la pérdida de agua y la infestación con malezas. También el momento de la plantación es importante. En algunas asociaciones de cultivo con batata se demora la plantación de ésta para permitir un mejor arranque del cultivo asociado (Nedunchezhiyan et al., 2012). Otro factor a tener en cuenta es la variedad de batata, dado que la variabilidad en la especie es muy alta para la mayoría de los caracteres. Por ejemplo, para asociaciones de batata con maíz potencialmente serían más útiles las variedades tolerantes al sombreado (Nedunchezhiyan et al., 2012). En algunos casos hay efecto de la variedad de batata utilizada en el rendimiento del cultivo acompañante. Así, Idoko et al. (2018) hallaron que el rendimiento de mandioca disminuía al intercalarla con la variedad de batata CIP440293, pero aumentaba cuando se usaba la variedad de batata NARSP 05/022; mientras que cuando se intercaló batata con maíz o soja el efecto de las variedades sobre el rendimiento de estos dos cultivos fue el opuesto. Asimismo, variedades con hábito de crecimiento compacto, con poca tendencia a extenderse sobre el terreno, serían ideales para intercalar con otros cultivos.

Algunas experiencias de antecesores y consociaciones de leguminosas y maíces antes del cultivo de hortalizas de hojas y cultivo de batata en la EEA INTA San Pedro

La implementación de manejos agroecológicos en sistemas hortícolas, necesita disponer de prácticas agronómicas que permitan generar grandes cantidades de biomasa vegetal (cultivo de cobertura), en pequeñas superficies en diferentes épocas del año, y que alternen con el ciclo del cultivo de hortalizas (Florentin *et al.*, 2001). El cultivo de cobertura, en la sucesión hortícola puede ser una práctica sustentable, para mantener las funciones productivas de los suelos, reponer los nutrientes necesarios y brindar el sustrato indispensable para el desarrollo de la macro y meso-fauna edáfica asociada. La utilización de variedades y maíces criollos es una práctica agronómica habitual en los sistemas agroecológicos, ello está asociado al rescate de cultivares, la biodiversidad genética y cultural de los agricultores. Sin embargo a su vez el cultivo de maíz como antecesor del cultivo de hortalizas genera abundante biomasa precedente, contribuyendo con cobertura al suelo y favoreciendo como residuo orgánico el reciclado de macro-elementos, carbono, nitrógeno, fósforo, y las propiedades físico-biológicas del suelo. En sistemas agroecológicos existe la necesidad de complementación de plantas que aporten carbono y ligninas a la materia orgánica nativa del suelo, como también de cultivos que sean eficientes fijadores del nitrógeno atmosférico. Esta forma de complementación de variedades de maíz con leguminosas estivales, puede satisfacer ambos requisitos y ser una práctica de gran utilidad en el manejo, la conservación del suelo y la sustentabilidad en el largo plazo. Vieira (1985) analizó gran cantidad de ensayos en Brasil del consorcio maíz junto a frijol, concluyendo que los factores, variedad, densidad de plantas, diseño del cultivo y las épocas de siembra eran los que explicaban en mayor medida la mejor respuesta de la asociación. Los resultados de este estudio demuestran que la práctica del consorcio de maíz con porotos es via-

ble y de uso frecuente en agricultores de pequeñas superficies, los que no disponen de insumos externos. Flesch (1991), analizando ensayos en Santa Catarina, Brasil, concluye que el consorcio maíz-frijol genera una mayor producción biológica, mejor aprovechamiento de luz, agua, nutrientes, menor incidencia de plagas, mayor diversidad de alimentos, seguridad a cosecha y mejor uso de la mano de obra familiar. Algunos beneficios inmediatos de las tecnologías emergentes del manejo del cultivo en consorcio en sistemas agro-ecológicos, se observan en la reducción de “inputs externos”, en la eliminación de fertilizantes sintéticos, herbicidas, y agroquímicos, los que no siempre son de fácil acceso, en pequeñas fincas hortícolas. Las coberturas de leguminosas subtropicales y la de gramíneas, con alto potencial de producción de biomasa vegetal, en climas templados y subtropicales, permiten mantener adecuados niveles de materia orgánica, fertilidad, aportando cantidades importantes de, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, asociados a la descomposición de la mismas, y al reciclaje de nutrientes. Esto también es realizado por los extensos sistemas radiculares de las plantas de cobertura, desde capas más profundas del perfil del suelo. Estos manejos agronómicos, varían según la época en que la masa vegetal, es cortada y dejada en superficie, dependiendo su velocidad de descomposición del contenido de lignina de los residuos. El objetivo del trabajo fue evaluar en un ensayo de mediano plazo **(Experimento 1)** el comportamiento de variedades de maíz y leguminosas subtropicales, en monocultivo y consorcio, antes del cultivo de hortalizas de otoño invierno como lechuga.

Por otra parte el cultivo de batata es importante en varias economías regionales de Argentina como en el NEA y NOA debido a su gran capacidad para producir grandes cantidades de alimento por área y ser cultivada por muchos agricultores familiares. El cultivo también es realizado por empresas medianas de la región pampeana en la Pcia de Bs As . En esta amplia distribución su cultivo se realiza en variados tipos de suelos que abarcan desde los aluviales franco arenosos en el norte de Formosa, has-

ta suelos Argiudoles arcillosos donde se extiende hasta un poco más de los 33° de latitud sur. Los métodos de cultivo de batata fueron basados en herramientas de labranzas y maquinarias adaptadas al manejo de suelos en cada ecorregión, pero con excesivos laboreos para favorecer el suelo desnudo en las operaciones de transplante sobre canteros, lo que así disminuyó sucesivamente las fracciones más lábiles del carbono del suelo (Gonzalez *et al*, 2009). Por otra parte la batata a pesar de ser un cultivo poco exigente en términos de exportación de macronutrientes, sin planificación de antecesores y rotaciones lleva a caídas bruscas de la materia orgánica, en relación a los suelos prístinos. Camargo (1951) analizando una red de más de treinta ensayos de NPK en el estado de Sao Paulo, concluyo que la fertilidad natural del suelo y otros factores de orden de manejo agronómico demostraron mayor influencia en la producción de batata que la fertilización química. La batata no respondía en forma directa al aporte de elementos minerales, ya que los factores de manejo como, calidad del suelo, rotaciones, antecesores, sistemas de labranzas, influenciaban mayormente los rendimientos. Espíndola (1996) en experimento en RJ Brasil, encontró que las leguminosas *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis* y *Mucuna aterrina*, presentaban un mayor acumulo de NPK en la parte aérea con relación a la vegetación espontánea y utilizadas como antecesoras en el pre-cultivo de batata incrementaban los rendimientos. Las plantas leguminosas también aumentaban el número de propágulos infectivos de hongos micorrízicos con relación a él campo natural, demostrando esto una relación sinérgica con el aumento de productividad de batata. En sistemas agroecológicos la conservación de suelos, su calidad, manejo y la caracterización de propiedades físicas, química y biológicas, de modo integral, es un factor clave para rediseñar y planificar el manejo de los cultivos. El objetivo del trabajo fue evaluar en el en un ensayo de mediano plazo **(Experimento 2)** el comportamiento de variedades de maíz y leguminosas subtropicales, en monocultivo y consorcio, antes del cultivo de batata

Descripción del predio experimental

Experimento n°1 El ensayo se realizó en la EEA San Pedro INTA en un suelo correspondiente a la serie Ramallo (Ra), Argiudol vertico, profundo, de textura superficial franco arcillo limoso. El experimento se implantó en el ciclo agrícola 2011/12 con diseño estadístico de bloques al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos fueron 12 según sigue: 5 variedades de maíz en monocultivo; *cv. Blanco Duro (MZBduro)*, *cv. Caiano (MZCaiano)*, *cv. Azteca (MZAzteca)*, *cv. Mato Grosso (MZMagros)*, *cv. Chala Roja (MZChalrj)*, 1 sorgo forrajero *cv. Talero (sorgo)*, 2 leguminosas subtropicales, *Canavalia ensiformis (canavali)* *Mucuna cinza (mucuna)*, 1 barbecho desnudo estival (**barbecho**), 1 maíz consociado *cv. Blanco Duro-Canavalia ensiformis (MZBdcana)*, 1 maíz consociado *cv. Caiano-Canavalia ensiformis (MZCaican)*. Las labranzas de preparación del sitio para el maíz, consistieron en triturado de vegetación espontánea, laboreo primario con cincel y dos operaciones de rastra excéntrica dos meses antes del trasplante. Durante 2011-2012 y 2012-2013, se efectuaron muestras de peso fresco y seco (estufa a 65°C) para determinación de gramos materia seca/ m² de suelo de los antecesores y la elaboración de las curvas de crecimiento de los diferentes tratamientos. En los años 2012, 2013, 2014, 2015, se levantaron registros de componentes de rendimientos agronómicos, y rendimientos por ha en este sistema.

Experimento n°2 El ensayo se realizó en un lote de la EEA San Pedro INTA en un suelo correspondiente a la serie Ramallo (Ra), Argiudol vértico, igual que en Exp. n1. Los tratamientos antecesores fueron 12 según sigue: 3 variedades de maíz *cv. Blanco Duro (MZBduro)*, *cv. Caiano (MZCaiano)*, *cv. Azteca (MZAzteca)*, 1 sorgo forrajero *cv. Talero (sorgo)*, 2 leguminosas subtropicales *Canavalia ensiformis (canavali)*, *Mucuna cinza- biochard (mucuna)*, 1 barbecho desnudo estival (**barbecho**), 1 avena-batata (**batavena**), 1 monocultivo batata (**batmono**), 1 batata-*Canavalia ensiformis (bat-canav)*, 1 batata-*cv. Blanco Duro (batMZBdu)*, 1 batata-*cv. Caiano (batMZcai)*. Las ba-

tatas cosechadas y agrupadas según la secuencia de antecesores, en años pares 2012, 2014, 2016 fueron las que provenían de parcelas de monocultivo, consorcios, y avena. En los años impares 2013, 2015, 2017, fueron todos los trataminetos anteriores e incluso los provenientes del año anterior con maíces, sorgo, leguminosas, barbechos desnudos.

Experiencias con éxito en cultivo de maíz consociado con leguminosas

En la **Fig.1** y **Fig.2** se observa como en ambos ciclos de cultivo las variedades de maíz superaron en gramos de m seca/m² a las leguminosas *Canavalia ensiformis (canavali)* *Mucuna cinza (mucuna)*. En ello puede haber incidido una mejor adaptación de los maíces en clima templado (latitud 33°) que las leguminosas subtropicales. En especial *cv. Caiano (MZCaiano)*, su cultivo consociado *cv. Caiano-Canavalia ensiformis (MZCaican)* y *Mato Grosso (MZMagros)*, fueron superiores a *Blanco Duro (MZBduro)*, y *cv. Azteca (MZAzteca)*. También se observa como el (**MZCaiano**) en monocultivo o consociado (**MZCaican**) fue siempre superior a (**MZBduro**) en monocultivo o consorciado (**MZBdcana**). Al analizar la **Figura 3** se ven rendimientos por ha superiores a favor de (**MZCaiano**) en monocultivo o consociado (**MZCaican**) con relación a (**MZBduro**). De todas formas, es alta la performance de (**MZCaiano**) consociado junto a *Canavalia (MZCaican)*, lo que corrobora la hipótesis de que el éxito del cultivo en consorcio en mucho depende de cultivares o variedades, que hacen al mejor diseño y adaptación a ser conducidos en este sistema. Al analizar el peso de la chala, también se encontró que esta representa en promedio en todos los cultivares criollos, entre un 35-50% del peso total de la espiga, lo que indica una relación muy favorable, en la medida que los cultivares pueden ser productivos, pero también permiten aportar importantes cantidades de residuos y materia orgánica desde otras partes de la planta al suelo, además de lo que exportan en grano. Al analizar el número de granos, se repiten las tendencias

Curva de crecimiento de antecesores 2011-2012

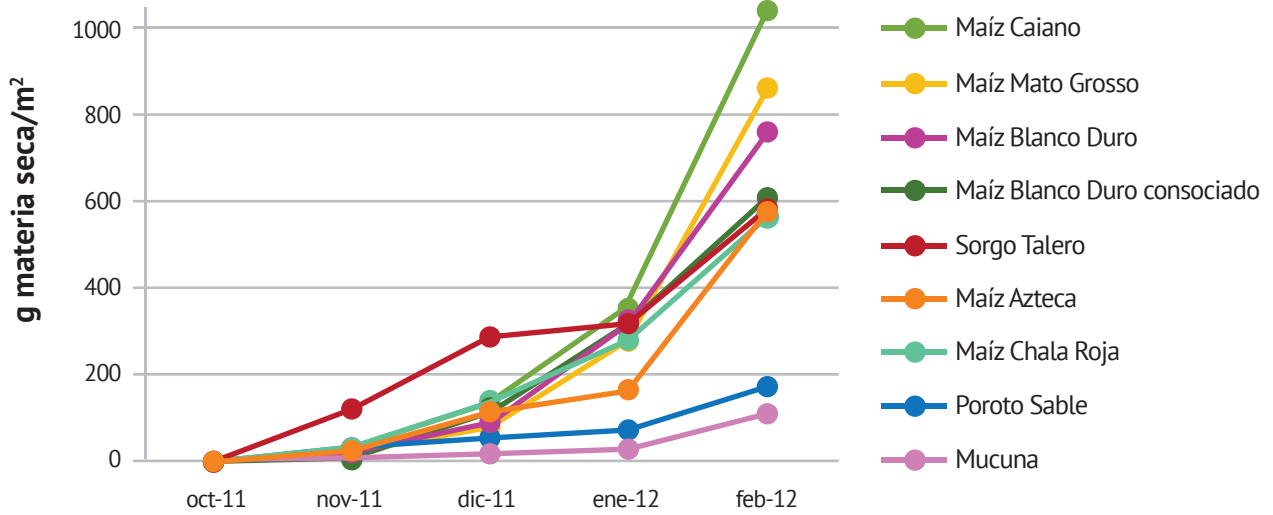


Figura 1. Evolución del crecimiento vegetal en la campaña 2011-2012 de los cultivares de maíz y leguminosas subtropicales en monocultivo y consociadas

Curva de crecimiento de antecesores 2012-2013

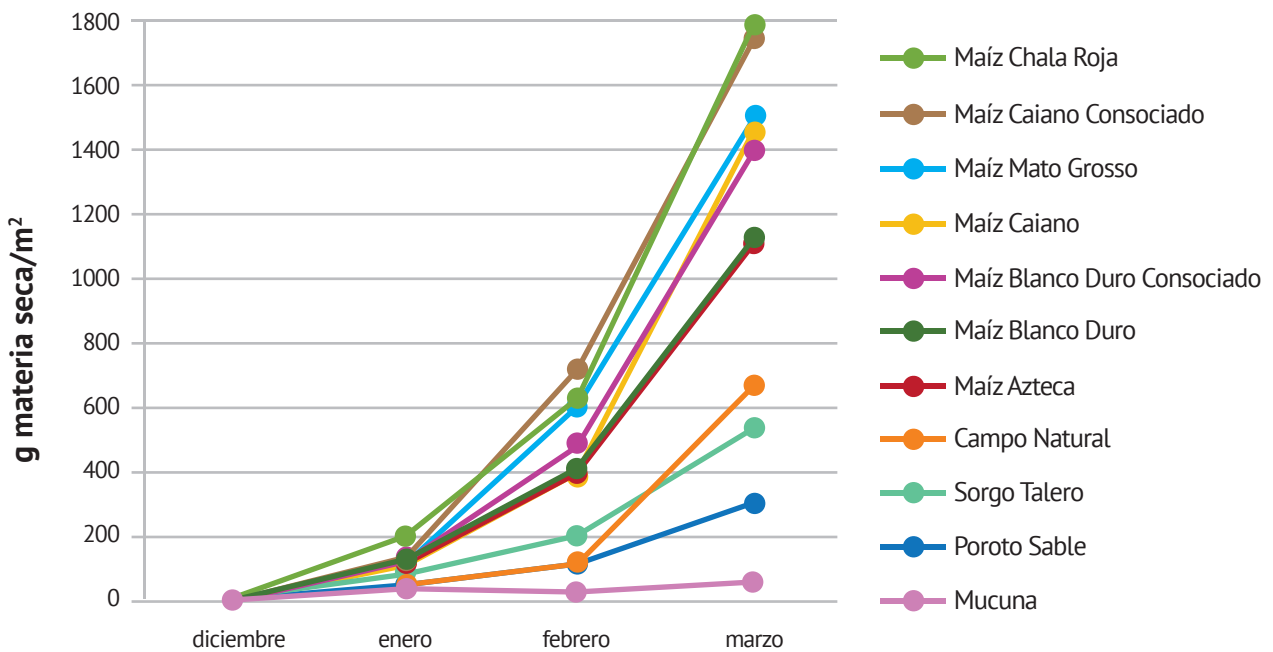


Figura 2. Evolución del crecimiento vegetal en la campaña 2012-2013 de los cultivares de maíz y leguminosas subtropicales en monocultivo y consociadas

vistas entre las jerarquías de las variedades. Este asunto de variedades como (**MZCaiano**), el que presenta buen peso de espiga y chala, alto número de granos, altos rendimientos y muy buena adaptación al consorcio, debería ser tomado en cuenta en la búsqueda de idiotipos de nuevos cultivares promisorios para el sistema agroecológico, en la medida, que la alta performance productiva también se ve acompañada de importantes cantidades de residuos de otras partes de la planta, que queden en el suelo. Al analizar los rendimientos por ha, en el ciclo completo del período 2012 -2015 (**Figura3**), si bien la alta variabilidad de cada año, no permitió observar diferencias en términos estadísticas, la tendencia sigue siendo buena para (**MZCaiano**) o consociado junto a *Canavalia* (**MZCaican**) frente al resto, e incluso en **MZBduro** en monocultivo es inferior que junto al consorcio **MZBdcana**. Posteriormente e incluso para conocer el efecto antecesor sobre las hortalizas de cultivo otoño invernal y en las mismas parcelas subsiguientes, en la **Tabla 3** se observa el efecto acumulado de los anteceso-

res maíz y otros en 2015. Los mejores rendimientos de cultivos de lechuga, fueron en los tratamientos provenientes de maíces consociados; **MZCaican** y **MZBdcana**, donde los maíces en consorcio presentaron luego en peso medio de plantas de lechuga (183 gr vs 148 gr ; 252 vs 136) y rendimientos por ha (8254 vs 3240 Kg/ha ; 10154 vs 2138 kg/ha) muy superiores a las parcelas procedentes de monocultivo respectivamente. Este hecho está muy en relación a muchos de los trabajos comentados en párrafos anteriores de la revisión, donde las bondades de los residuos de gramíneas y leguminosas en descomposición mejora en forma notable, la disponibilidad de nutrientes y la calidad de suelos.

Experiencias con éxito en cultivo de batata consociado con maíz y leguminosas

En la **figura 4** se observan los gráficos box plot con los rendimientos por ha del cultivo de batata en promedio de los años 2012, 2014, 2016 los cuales

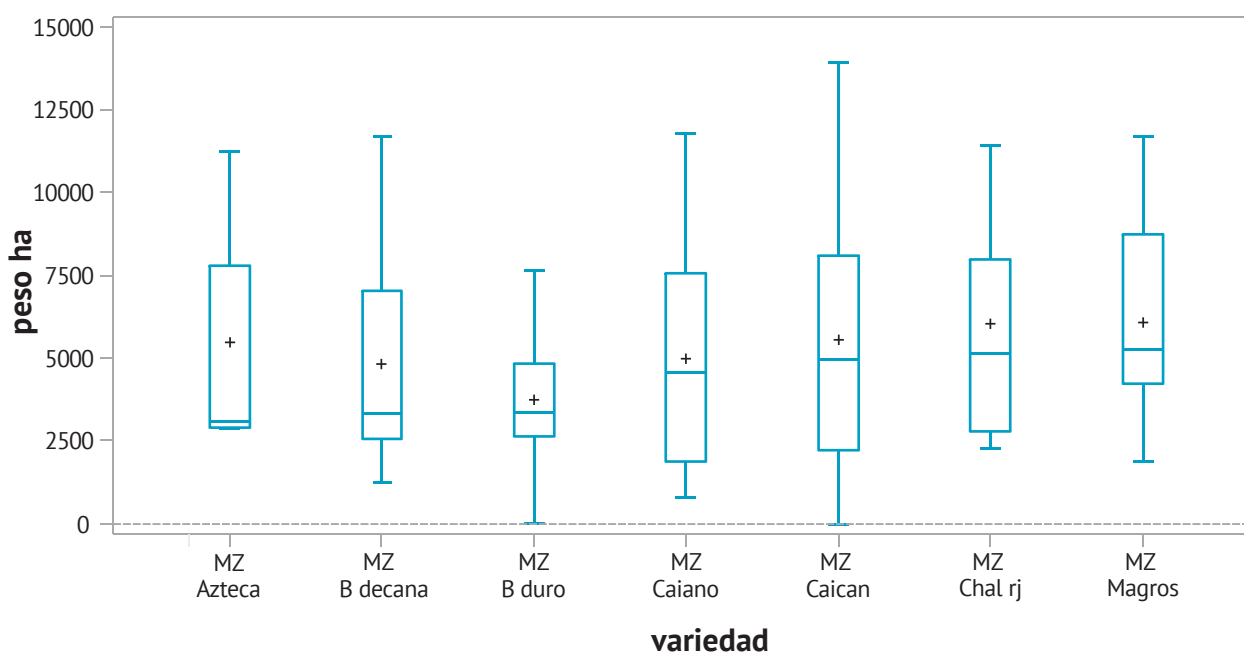


Figura.3 Rendimientos promedios por hectárea de variedades de maíz de los años de 2012 a 2015

presentan la tendencia a menores rendimientos provenientes de la batata en monocultivo (**batmono**), o los provenientes de abonos verdes otoñales-invernales **batavena**, con relación a los cultivos consociados de batata en hileras de por medio con **batMZBdu**, **batMZcai**, **bat-canav**, superiores. En la **figura 5** en los rendimientos promedios de los años 2013, 2015, 2017, la tendencia se mantiene favorable a estos últimos tratamientos de batata en consorcio, e incluso se mantiene una tendencia a los rendimientos decrecientes en **batmono**, **batavena**, con relación a los antecesores provenientes de maíces sin consorcio, **MZBduro**, **MZCaiano**, **MZAteca**. En la **Tabla n°4** en la primera columna se observa en forma ascendente, como los niveles de enzima FDA son significativamente menores en **batamono**, en relación a los cultivos de batata provenientes de los antecesores maíces o los cultivos consociados con estos y con leguminosas. Es decir la tendencia al cuarto año de monocultivo de batata relacionado a un indicador sensible como las enzimas de suelos como FDA, muestra una caída ya inminente de niveles, lo que podría relacionar-

se con un cambio de tendencia en el estado de la calidad y salud del suelo. Una situación también de deterioro a destacar se da en el tratamiento **barbecho** desnudo estival, el cual cae en los niveles más bajos de hifas y vesículas de hongos micorrízicos, con relación a los cultivos de batata en monocultivo o consociados. Este tratamiento, no consiguió mantener un nivel alto de micorrización en batata, lo que puede indicar, que son necesarios otras estrategias de épocas del antecesor en otoño aún con menores rendimientos (ej avena) o batata en consorcios en primavera estival, para mantener micorrizas nativas del suelo entre los períodos de cosechas.

Conclusiones

La producción sostenible de rendimientos agronómicos en maíces, batata, y otras hortalizas podría ser viable desde que se busquen favorecer conjuntamente rastrojos voluminosos con alta actividad enzimática en suelos con antecesores como maíz

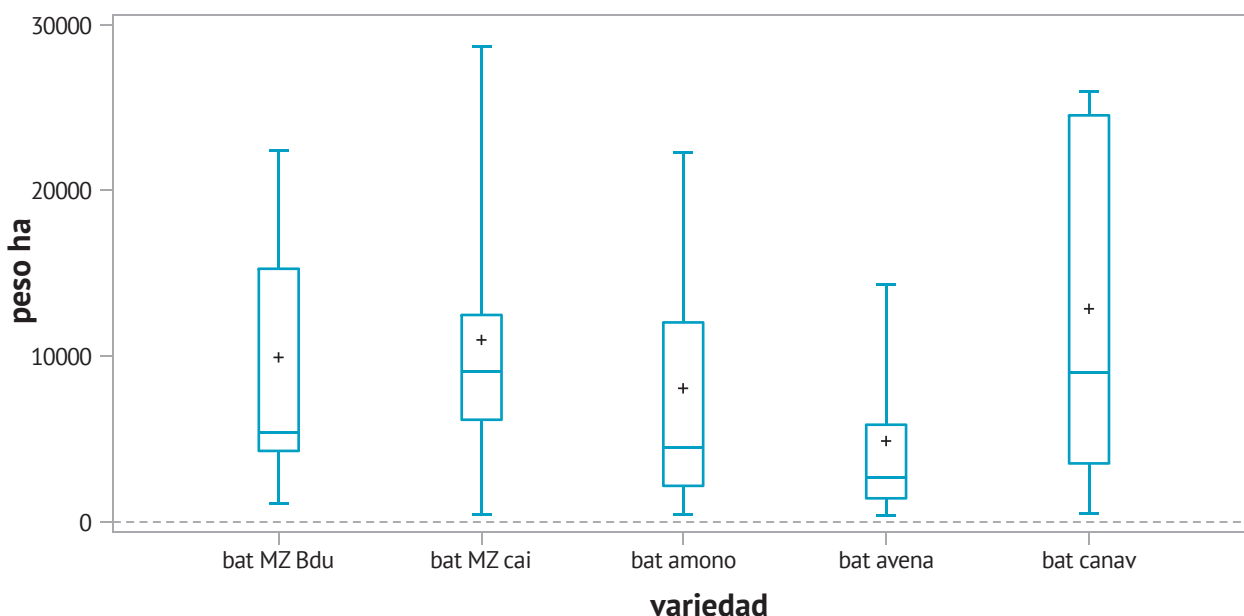


Figura 4. Rendimientos promedios por hectárea de cinco tratamientos de batata de los años 2012- 2014-2016.

Tratamientos antecesores	Peso medio 2013 gr	Peso medio 2015 gr	Rendimiento/ha 2013 kg	Rendimiento/ha 2015 kg
MZAZTECA	182 a	162 bcd	6933 a	6209 abcd
MZCHALAROJA	177 ab	170 bc	7465 a	7966 abc
MZMATOGROSSO	172 ab	186 b	6557 a	6240 abcd
MZCAIANcanav	167 ab	183 b	6823 a	8254 ab
CNatural	165 ab	132 ef	6089 a	6532 abcd
Mucuna	162 abc	115 fg	5117 a	4309 bcd
Barcecho	154 bc	155 cde	5486 a	5690 abcd
MZBDcanav	152 bc	252 a	6715 a	10154 a
MZCAIANO	150 bcd	148 cde	4726 a	3540 bcd
MZBDURO	136 cd	136 def	4125 a	2138 d
Sorgo	124 d	95 g	3367 a	3262 cd
Canavalia	124 d	152 cde	4475 a	5734 abcd

Tabla 3: Peso medio por planta (gr) y rendimientos (kg/ha) de lechuga mantecosa cv *Elisa*, trasplantada en dos años sobre diferentes cultivos antecesores de primavera verano en la EEA INTA San Pedro, Pcia Bs As.

y leguminosas, pero con diseños de cultivos y sistemas radiculares que también favorezcan el consorcio de plantas, de modo de beneficiar la propagación y desarrollo de hongos micorrízicos nativos del suelo entre cosechas y la actividad biológica general de la biota del suelo. En este sentido los cultivos en consorcio de batata y otros ensayados aquí, podrían brindar una posible solución en el sistema agroecológico de producción, cuanto a mantener alto nivel de enzimas y alta capacidad infec-

tiva de micorrizas en suelos. El aporte del trabajo en términos de conocimientos a sistemas de producción agroecológico, estaría dado en comprender bien la prácticas agroecológicas de soporte, como cultivos de cobertura, abonos verdes, consorcios de plantas y demostrar como impactan en propiedades biológicas de los suelos, permitiendo también de modo sensible predecir el estado de salud del suelo y relacionarlas a la evolución de los rendimientos de cultivos.

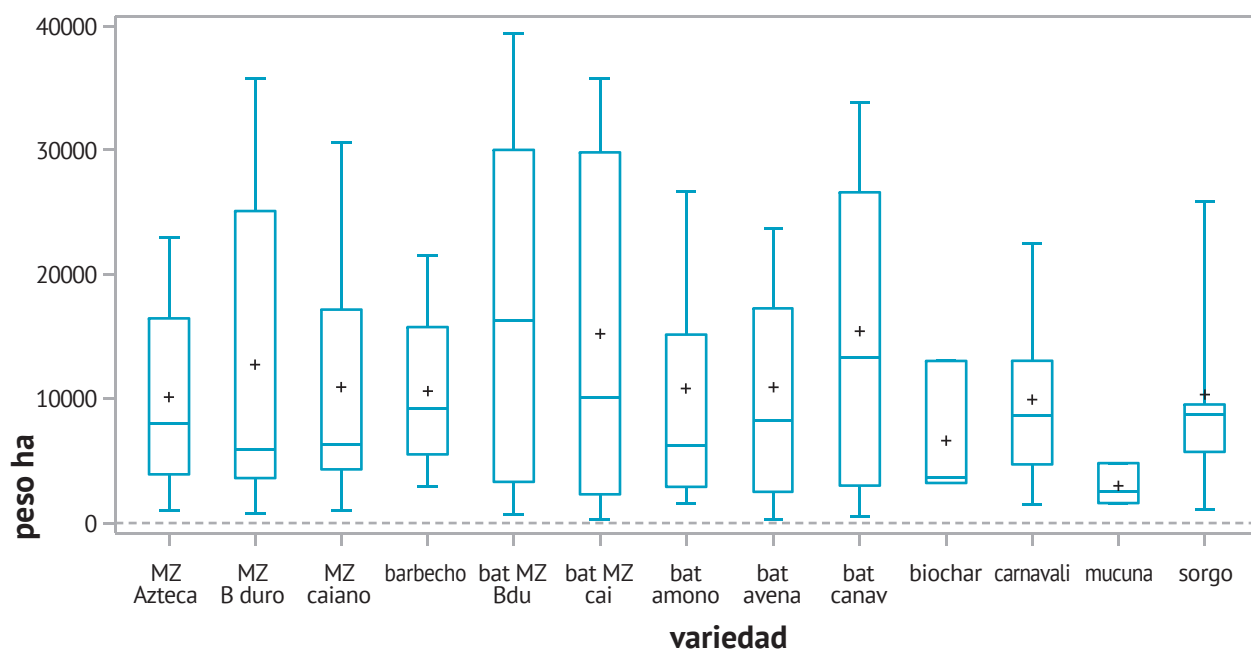


Figura 5. Rendimientos promedio por hectárea de doce tratamientos de batata de los años 2013- 2015-2017.

hidrólisis de fluoresceína diacetato (FDA)			Hifas (H)			Vesículas (VE)		
batamono	10.50	A	barbecho	5.50	A	barbecho	7.00	A
sorgo	25.67	AB	MZCaiano	8.50	AB	mucuna	13.50	AB
mucuna	30.33	AB	MZBduro	19.33	ABC	sorgo	15.83	AB
MZBduro	34.33	B	mucuna	20.00	ABC	MZAzteca	19.17	AB
barbecho	36.33	B	MZAzteca	23.17	ABC	MZCaiano	20.17	ABC
Canavalia	39.50	B	sorgo	28.00	ABC	MZBduro	23.00	ABC
batMZBdu	40.17	B	Canavalia	25.83	ABC	Canavalia	23.17	ABC
batcanav	41.83	B	batMZcai	28.17	BC	batcanav	27.58	ABC
MZCaiano	42.50	B	batMZBdu	30.08	C	batMZcai	28.08	BC
MZAzteca	42.67	B	batcanava	30.58	C	batamono	31.75	BC
batMZcai	45.83	B	batamono	32.08	C	batMZBdu	32.83	BC
batavena	48.33	B	batavena	34.92	C	batavena	39.83	C

Tabla 4 : Variables biológicas enzima FDA, H, VE de hongos micorrízicos del suelo en promedio de los años 2013 y 2014 encontradas significativas entre tratamientos. Letras iguales no difieren significativamente (Rangos de Prueba de Kruskal Wallis)



Foto 1 a: Cultivo de maíz y batata en hileras de por medio en mitad del ciclo del cultivo de batata. EEA San Pedro



Foto 1b: Cultivo de maíz y batata en hileras de por medio en estadios más avanzados del ciclo del cultivo de bata. EEA San Pedro



Foto 2a: Cultivo de *Canavalia ensiformis* con implantación a fines de octubre en. EEA San Pedro



Foto 2b: Cultivo de maíz inter-sembrado con *Canavalia ensiformis* entre la hilera después del aporque.



Foto 3: Tres estratos del canopeo en el sistema agroecológico de la EEA San Pedro. Inferior cultivo de batata, intermedio *Canavalia ensiformis*; y superior cultivo de maíz.



Foto 4 a y b : Cultivo de hortalizas de hojas otoño invernales en la EEA San Pedro y EEA AMBA, subsiguientes a los cultivos antecesores de verano.

LITERATURA CONSULTADA

- Alhassan, A.A. 1988. A study of the effect of intercropping sweet potato [*Ipomoea batatas*] with maize [*Zea mays*] or cowpea [*Vigna*] on tuber and grain yields. Council for Scientific and Industrial Research, Institute for Scientific and Technological Information (CSIR-INSTI). <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GH9000014>. Consultado 23-7-2018.
- Aita, C., Giacomini, S.J., Ceretta, C.A. Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. In Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil : fundamentos e prática. Fontes de Lima Filho, O., Ambrosano, E.J., Rossi, F., Donizeti, C.J. A. Brasília, DF : EMBRAPA 2014. V1 p 227 -264.
- Aita, C., Giacomini, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura do solo solteiras e consorciadas. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG, v. 30; n.1 , p. 149-161, jan./feb. 2006.
- Alvarez, R. , Steinbach; H.S. Valor agronômico de la materia orgánica. In Materia Orgánica : valor agronômico y dinámica en suelos pampeanos. Capítulo 2. Coord. Roberto Alvarez- 1 ed. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires, p 13 - 29 . 2006
- Andrade, F.H. La tecnología y la producción agrícola . El pasado y los actuales desafíos. Ediciones INTA. EEA Balcarce, Centro Regional Buenos Aires Sur, 42 p. Balcarce 2001.
- Balota, E. L., Colozzi--Filho, A., Andrade, D. S.; Hungria, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, p.641-649, 1998.
- Bedoussac, L., Journet, È.P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou; G., Prier, L., Jensen, E.S, Justes, E. Eco-Funcional Intensification by Cereal-Grain Legume Intercropping in Organic Farming Systems for Increased Yields, Reduced Weeds and Improve Grain Concentration: In S. Bellon , S. Penvern (eds) INRA Avignon France Springer 2014. Organic Farming Prototype for Sustainable Agricultures, p 47- 63.
- Byamukama E., Gibson R.W., Mpembe I., Kayongo J., Mwanga R.O.M. 2007. Effect of shade and intercropping in the management of sweetpotato virus disease in Uganda. Proceedings of the 13th ISTRC Symposium 233-239.
- Camargo, T.L.A de, Herrmann, J. Contribuição para o estudo da adubação verde das terras roxas cansadas. Sao Paulo. Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, 1928. 22 p
- Camargo, F.A.O., Gianello, C., Tedesco, M.J., Vidor, C. Nitrogênio Orgânico do Solo. In Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo . Ecosistemas Tropicais & Subtropicais . Editores Gabriel De Araujo Santos ; Flávio de O. Camargo. Cap 07. p 116 -137. Porto Alegre , 1999.
- Camargo A. P. de 1951. Adubação da batata doce em São Paulo. Partel. Efeito da adubação mineral. Bragantia vol. 11, nos 1-3: 55-79
- Carvalho, A. M. Burle, M. L., Pereira, J. & Silva, M. A. 1999. Manejo de adubos verdes no cerrado. Embrapa Cerrados, Circular Técnica nº 4, Planaltina. 28 pp.
- Cordone, G. , Hansen, O. , Senigagliaesi, C. Abonos verdes. Posibilidades de su utilización en sistemas de agricultura permanente. Serie artículos técnicos, Nº1 SEPT 1986. INTA
- Corrêa, A. L., Abboud, A. C. S., Guerra, J. G. M., Aguiar, L.A. & Ribeiro, R. L. D. 2014. Adubação verde com crotalária consorciada ao minimilho anteceden-

- do a couve-folha sob manejo orgânico. *Revista Ceres* 61: 956-963.
- Costa, M. B. B. da (Coord.). *Adubação verde no Sul do Brasil*. Rio de Janeiro : ASPTA, 1992. 346p.
- Cunha, E. Q., Stone, L. F., Ferreira, E. P. B., Didone, A. D., Moreira, A. A. & Leandro, W. M. 2011. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e Milho. II - atributos biológicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 603-61
- Cusumano, C.O. y Zamudio, N. 2013. *Manual Técnico para el Cultivo de Batata (Camote o Boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina)*. Ediciones INTA.
- Da Paz, L. B., Gallo, A. S., Souza, R.L., Oliveira, L. V. N., da Cunha C., da Silva, R. F. 2017. Desempenho e produtividade do milho safrinha em consórcio com leguminosas em sistema orgânico. *Revista de Ciências Agrárias*, 2017, 40(4): 788-794
- D'Acunto, L., Andrade, J.F., Poggio, S.L., Semmartin; M. 2018. Diversifying crop rotation increased metabolic soil diversity and activity of the microbial community. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 257 (2018) 159–164
- Derpsch, R., Calegari, A. *Guia de plantas para adubação verde de inverno*. Londrina : IAPAR 1985. 96p (IAPAR Documentos, 9)
- Duarte, I. B., Gallo, A. S., Gomes, M. S., Guimarães, N. F., Rocha, D. P. & Silva, R. F. 2014. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. *Acta Iguazu* 3: 150-165.
- D'utra. G.R.P. *Adubos verdes: sua produção e modo de emprego*. Sao Paulo: Secretaria da Agricultura, Comercio e Obras Públicas do Estado de Sao Paulo, 1979, 16 pp.
- Egbe, M. O., and Osang P. O. 2015. Intercrop advantages of some improved sweet potato + soybean in Makurdi, Benue State, Nigeria. *International Letters of Natural Sciences*, 39:28-39.
- Espindola JA . 1996. *Influência da adubação verde sobre a simbose micorrizica e produção de batata-doce*. Rio de Janeiro. UFRRJ. IA. 73 p. Dissertação mestrado.
- Espíndola J.A.A. , Guerra, J.G.M., De-Polli, H., Almeida, D.L., Abboud, A.C. de S. *Adubação verde com leguminosas*. Brasília, DF : EMBRAPA Informação Tecnológica, Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2005. 49 p (Coleção Saber,5) .
- Ferreira, L. E.; Souza, E. P. & Chaves, A. F. 2012. *Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo*. *Revista Verde* 7: 33-38.
- Florenti, M.A, Peñalva, M., Calegari, A., Derpsch, R. 2001. *Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Pequeñas propiedades*. In *Proyecto Conservación de Suelos*. MAG-GTZ. San Lorenzo Paraguay. 83 pp
- Flesch R.D. 1991. *Cultivo consorciado do feijao com milho*. *Agropecuaria catarinense*, v4: 1: p 42-46. Santa Catarina. Brasil
- Gomes, M. S., Agostinho, P. R., Foresti, A. C., Gomes, S. S., Batistote, M. S. & Silva, R. F. 2014. *Plantas de Cobertura e seus Efeitos nos Bioindicadores de Qualidade do Solo, com Adição de Vinhaça*. *Cadernos de Agroecologia*, 9
- Gonzalez J., Martí H. R., Corbino G. B., Sanchez G. y Andriulo A. 2009. *Efecto de cultivos antecesores y abonos verdes sobre los rendimientos, contenido de nutrientes, antocianinas, fenoles, capacidad antioxidante y parámetros edáficos en batata orgánica*. En: Ullé J. A. (Editor). *Proyecto Regional: Desarrollo y Difusión de Tecnología para la Producción Ecológica*. Informe Técnico 2009. INTA, Centro Regional Buenos Aires Norte.

- Gomes, S.da Silva; Gomes, M.da Silva, Gallo; A. de Souza, Mercante, F.M., Batistote, M., Ferreira, R. da Silva. Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. Rev. Fac. Agron. La Plata (2015) Vol 114 (Núm. Esp.1) Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio: 30-37
- Holland, E.A., Coleman, D.C. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. Ecology, Tempe, v.68, n.2, p 425-433, Apr. 1987.
- Idoko, J.A., Iorlamen, T. and Offordile, A.E. 2018. Effect of intercropping some crop species with orange flesh sweet potato on the performance of orange flesh sweet potato varieties in Makurdi International Journal of Agricultural Policy and Research Vol.6 (3):28-37.
- Islam M. N., Akhteruzzaman M., Alom M. S. and Salim M. 2014. Hybrid maize and sweet potato intercropping: a technology to increase productivity and profitability for poor hills farmers in Bangladesh. SAARC J. Agri., 12(2): 101-111.
- INTA CRBAN PTR 2005-2008. Diagnóstico Cadena/sistema. Proyecto Regional: Desarrollo y Difusión de Tecnología para la Producción Ecológica (BANOR09). Plan de Tecnología Regional Buenos Aires Norte, 19 pp . Pergamino, julio 2006
- INTA EEA SAN PEDRO. Valores promedio en base a datos registrados en la Estación Agrometeorológica del INTA San Pedro (Latitud : 33° 41' SUD, Longitud: 59° 41' W.G.), y que aportan a la serie histórica desde 1965 hasta 2017. Ruta 9, km 170, (2930) San Pedro Buenos Aires. <https://inta.gov.ar/sanpedro>. Ed Uviedo & Zaneck
- INTA, 1978. Carta de suelos de la República argentina. Hoja 3360, 27 y 28 (Ramallo), 77p.
- INTA EEA MARCOS JUÁREZ. Boletín Informativo Semestral. Área Suelos Manejo y Conservación de Recursos Naturales. AÑO 1 - 15/12/2017. Marcos Juarez. 12 pp
- Lopes, N.F., Oliva, M.A, Freitas, J.G., Melges, E., Beltrão, N.E.M. 1982. Análise de crescimento e conversão da energia solar em feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) submetido a três níveis de densidade do fluxo radiante. Rev Ceres 30: 451-62
- Magdoff, F., Van Es, H. Organic Matter: What It Is and Why It's So Important. In Building soils for better crops : sustainable soil management. Chapter 2, 9-21 p. 2009. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) USDA's, University of Maryland and University of Vermont. Online: Visit www.sare.org/WebStore
- Martí, H. 2008. La batata: oportunidades para una hortaliza subutilizada. Boletín Hortícola 13(39):14-17.
- Martí H., Chiandussi C., y Filippi M. 2014. Producción agroecológica de batata para el gran cultivo y la huerta familiar. San Pedro, Buenos Aires : Ediciones INTA, 80 p.
- Marzocca, A. 1990. Disertación del academico de número. Ing. Agr. Angel Marzocca. Sobre agricultura precolombina y colonial en latinoamerica. Origenes y Promotores. doc p 11-47. https://www.google.com.ar/search?q=DISERTACION+DEL+ACADEMICO+DE+NUMERO+Ing.+Agr.+ANGEL+MARZOCCA&rlz=1C1AVSI_enAR467AR467&oq=DISERTACION+DEL+ACADEMICO+DE+NUMERO+Ing.+Agr.+ANGEL+MARZOCCA&aqs=chrome..69i57.1723j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- Mascarenhas, H. A. A., Wutke, E. B. Adubação, nutrição e fatores climáticos limitantes ao desenvolvimento dos adubos verdes. 2014. In: FILHO, O. F. L. et al. (Eds.). Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Bra-

- sília: Embrapa, 2014. v. 1, cap. 5, p. 189- 224
- Merlin, A. O., Guerra, J. G. M.; Junqueira, R. M., Aquino, A. M. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.62, p.57-61, 2005
- Miyasaka, S. Manejo da biomassa e do solo visando a sustentabilidade da agricultura brasileira. São Paulo: FUNDAG : Navegar, 2008.192p.
- Monegat, C. Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, 1991. 337 p
- Nafus D., and Schreiner I. 1986. Intercropping maize and sweet potatoes. Effects on parasitism of *Ostrinia furnacalis* eggs by *Trichogramma chilonis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 15:189-200
- Nedunchezhiyan M, Jata S. K., and Byju K. 2012. Sweet potato-based cropping systems. *Fruit Vegetable and Cereal Science and Biotechnology 6* (Special Issue 1):11-16.
- Ossom E. M. and Nxumalo M. 2003. Influence of sweet potato and grain legume crops grown in monoculture and in association on crop growth and yield in Swaziland. Final report submitted to UNISAWA Research Board, September 2003, pp:83.
- Ossom E. M., Kuhlase L. M., and Rhykerd R. L. 2009. Effects of plant population on yield components of intercropped sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *American-Eurasian Journal of Agronomy* 2(1):01-06.
- País, 1994. La paja es el alimento del suelo. Reportaje al Ing. Agr. Jorge Molina. *Mundo Orgánico*, Bs.As., 1(3):4-6.1994 Bs As
- Paul, E. A., Clark F.E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover . In *Soil Microbiology and Biochemistry*. Second Edition . Academic Press San Diego California 1996. Chapter 7 157- 179 p.
- Qi-song, L., Lin-kun, W., Chen Jun, C., MA Khan, M.A. ; Xiao-mian, L. , Wen-xiong, L. Biochemical and microbial properties of rhizospheres under maize/ peanut intercropping. *Journal of Integrative Agriculture* 2016, 15(1): 101–110
- Ravi V. and Indira P. 1999. Crop physiology of sweetpotato. *Horticultural Reviews* 23:277-338
- Roscoe, R., Mercante, F. M., Mendes, I. C., Reis Júnior, F. B.; Santos, J. C. F. & Hungria, M. 2006. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Roscoe, R.; Mercante, F. M.; Salton, J. C. (Ed.). Dourados, pp. 163-198.
- Rossi, F. & Donizeti, C. J.A. Histórico da adubação verde no Brasil. In *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil : fundamentos e prática*. Fontes de Lima Filho, O., Ambrosano, E.J., Rossi, F., Donizeti, C.J. A. Brasília, DF : EMBRAPA 2014. V1 pp 39 -57
- Salvagiotti, F., Krüger, H., Studdert, G. Ensayos de Larga Duración en Argentina: Un aporte al logro de Sistemas Agrícolas Sustentables. 1a ed .– Entre Ríos : Ediciones INTA, 2017. Libro digital, PDF. <https://inta.gob.ar/documentos/ensayos-de-larga-duracion-en-argentina-un-aporte-al-logro-de-sistemas-agricolas-sustentables>
- Sasal, C; Andriulo, A.; Ullé, J.; Abrego, F.; Bueno , M. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas, en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* . 18 (2) p. 95-104. Santa Rosa 2000

- Smith, R.G., Gross K. L., Robertson G. P. (2008). Effects of Crop Diversity on Agroecosystem Function: Crop Yield Response. *Ecosystems* 11: 355–366
- Silveira, L., Petersen, P., Sabourin, E. Parte III Valorizando a construção social de analogias ecológicas. 5- A manutenção de alta biodiversidade funcional . Policulturas e rotações. In *Agricultura familiar e agroecológica no semi-árido: avanços a partir do agreste da paraíba* . Luciano Silveira, Paulo Petersen ; Eric Sabourin Rios e Janeira AS-PTA 2002 , p 35-102.
- Thomazini, A., Mendonca, E.S., Souza, J.L., Cardoso, I.M, Garbin, M.L. Impact of organic no-till vegetables systems on soil organic matter in the Atlantic Forest biome. *Scientia Horticulturae* 182 (2015) 145–155.
- University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Publicacion 21471: Covercrops for California Agriculture. Miller, P.R, Graves; W.L , Willians ; W.A., Madson B.A, 1989 Oakland . California
- UC Sustainable Agriculture Research and Education Program. 2017. "Cover Crops." What is Sustainable Agriculture? UC Division of Agriculture and Natural Resources. <http://asi.ucdavis.edu/programs/sarep/what-is-sustainable-agriculture/practices/cover-crops>
- Vieira, A. S., Ben, J.R. , Gastal, F.L. da C. 1980. Avaliação do cultivo de milho e feijão nos sistemas exclusivo e consorciado . *Pesq. Agropec. Bras.* 15 : 19-26
- Vieira C. 1985. O feijao em cultivos consorciados. Universidade Federal Viçosa UFV). 134 p. Viçosa. Minas Gerais. Brasil
- Wagger, M.G. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agronomy Journal* , Madison, v.81, n.2, p 236-241 Mar./Apr. 1898.
- Zanatta, J.A, Bayer, C., Dieckow, J., Vieira, F.C.B., Mielniczuk, J. Soil organic carbon accumulation and carbon cost related to tillage cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. *Soil and Tillage Research* , Amsterdam, v.94, n.2, p.510-519, June 2007.
- Yaku A. 1992. Effects of intercropping sweetpotato on the population density of sweet potato weevil (*Cylas formicarius* F.) (Coleoptera: Curculionidae). M. Sc Thesis, Department of Entomology, University, Montreal, Quebec, Canada.

CAPÍTULO 8

HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS PARA LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA



Luciano Orden¹



Roberto Adrián,
Rodríguez²

¹ EEA INTA Ascasubi. Ruta 3, Km 794. Hilario Ascasubi Buenos Aires.

² Departamento de Agronomía UNS. San Andrés 800. Bahía Blanca Buenos Aires.

Correo electrónico: orden.luciano@inta.gob.ar.

Resumen

El sistema de compostaje se utiliza con éxito en todo el mundo para tratar los residuos y está siendo adoptado ampliamente en nuestro país. El aporte de materia orgánica proveniente de los residuos sólidos orgánicos es fundamental en el manejo de la fertilidad de los suelos en sistemas agropecuarios agroecológicos. Es necesario optimizar el reciclaje de los nutrientes de los compost considerando no solo criterios agronómicos sino también ambientales, por lo que es indispensable conocer la dinámica de su degradación post aplicación al suelo. El compostaje ha sido propuesto como una alternativa para obtener un producto estable, de lenta liberación de nitrógeno, lo que minimiza el riesgo de pérdidas de nitratos por lixiviación. En conclusión, a partir de los estudios realizados, fue posible determinar las condiciones para emplear los residuos como materia prima en co-compostaje. Se lograron establecer herramientas tecnológicas viables para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos y proveer de un bioinsumo de alta calidad para cubrir las necesidades nutricionales de cultivos bajo manejo agroecológico.

Palabras clave: residuos orgánicos, compost, bioinsumos.

Abstract

The composting system is successfully used throughout the world to treat waste and is being widely adopted in our country. The contribution of organic matter from organic solid waste is fundamental in the management of soil fertility in agro ecological farming systems. It is necessary to optimize the recycling of the nutrients of the compost considering not only agronomic but also environmental criteria, so it is essential to know the dynamic of nutrients released after application to the soil. Composting system has been proposed as an alternative to obtain a stable, with slow release of nitrogen, which minimizes the risk of nitrate losses by leaching. Experimental studies were carried out to determine the conditions to use the waste as raw material in co-composting. It was possible to establish viable technological tools for the treatment of organic solid waste and provide a high quality bio-input to cover the nutritional requirements of crops under agroecological management.

Keywords: organic waste, windrow composting, bio-input.

Introducción

Nuestro país es reconocido por la falta de inclusión de residuos sólidos orgánicos (RSO) en el ordenamiento del espacio rural. El avance de los complejos urbano-industriales sobre las áreas rurales y periurbanas conlleva procesos de deterioro socio-ambientales. Son comunes los problemas de erosión de los suelos, la pérdida de barreras biológicas y la contaminación del aire, agua y suelo que impactan sobre la salud humana y que provocan la expulsión de los productores del sistema. Buena parte de los problemas son generados por la acumulación de RSO, que se ha vuelto exponencial debido a la intensificación productiva. En síntesis, ambas problemáticas interactúan para determinar una disminución generalizada de la calidad de vida (Entrena Durán, 2005).

En los últimos tiempos, por diversas circunstancias y eventos que se han suscitado, ha tomado estado público la necesidad de emprender acciones concretas para mitigar los impactos negativos del sistema agroalimentario y agroindustrial (SAA) en el ambiente. Ello ha incrementado la demanda de los consumidores por productos originados en sistemas de producción sustentables, al tiempo que se incrementa la necesidad de los productores y empresas por encontrar soluciones técnicas y económicamente viables para el buen uso y/o valorización de los residuos de sus sistemas productivos (Saval, 2012).

Una estrategia que se ha utilizado desde la antigüedad para convertir los desechos orgánicos y poder utilizarlos posteriormente en agricultura es el proceso de compostaje (Cegarra Rosique y Paredes Gil, 2008). El compostaje es un proceso bio-oxidativo controlado que involucra un sustrato orgánico

heterogéneo en estado sólido, una etapa termofílica y producción de materia orgánica (MO) estabilizada denominada compost (Zucconi y De Bertoldi, 1987), y es actualmente una de las formas de manejo de residuos orgánicos más utilizada a nivel mundial. El proceso de compostaje ayuda a reducir sustancialmente la masa y el volumen de la materia cruda, a erradicar las semillas de malezas, a eliminar los organismos patógenos que pueden causar enfermedades en animales y humanos, a disminuir las emanaciones putrefactas posiblemente nocivas y estabilizar los nutrientes (Altieri, 1999). El procesamiento de RSO mediante esta técnica, constituye una alternativa viable para disminuir algunos de estos problemas y a la vez generar una actividad económica con alto valor social que se materializa con la producción de enmiendas orgánicas y biofertilizantes. La producción de enmiendas orgánicas permite mitigar la generación de gases de efecto invernadero, genera insumos alternativos y complementarios a los fertilizantes de síntesis química, y aporta a la recuperación de los suelos.

El compostaje transforma los RSO en un material humificado, estable, sin olor, sin patógenos llamado compost, que dependiendo de su calidad puede tener alto valor agregado y ser utilizado como mejorador de suelos degradados (Dickson *et al.*, 1991; Prono *et al.*, 2010; Lavado, 2012). La evolución del compostaje, que puede considerarse como un antiguo arte o como una ciencia moderna, es cíclica; sus objetivos han ido variando al cambiar el desarrollo y los intereses de la sociedad (Soliva Torrentó *et al.*, 2008). Este cambio ha exigido pasar desde los métodos sencillos de la antigüedad, a un proceso riguroso donde se deben aplicar técnicas y

procedimientos controlados, para obtener un compost de calidad.

En la actualidad, para poder evitar inconvenientes asociados a la salud, tanto en zonas urbanas como en zonas rurales y periurbanas, es necesario el control tanto del proceso de producción (compostaje) como del producto final (compost) para asegurar una óptima calidad debido a las grandes cantidades y heterogeneidad de los desechos generados en áreas confinadas de producción.

Como se dijo antes, los compost pueden ser utilizados como mejoradores de suelos degradados. La adición de enmiendas orgánicas origina un comportamiento físico, químico y biológico edáfico que es característico de los suelos ricos en MO: aumento de la capacidad de retención de agua, mejora del ingreso y la conducción del agua, aumento de la eficiencia del riego, facilidades para el laboreo, mantenimiento del pH, aumento del contenido de nutrientes (Sasal *et al.*, 2000). También pueden ser usados para ayudar a prevenir la erosión del suelo, remediar tierras contaminadas, y como cobertura diaria o material de cierre en los sitios de disposición final de residuos (Frioni, 2006).

Con la valorización en cantidad y calidad de los residuos como un recurso de nutrientes y MO, es posible cubrir los requerimientos de los cultivos en sistemas productivos agroecológicos; al tiempo de mejorar la calidad del suelo a través de la estimulación de la actividad biológica y la consiguiente mejora de la fertilidad química y física del mismo.

El estudio integral que se pretende abordar en este capítulo, ofrece la posibilidad de adaptar una tecnología con dos aplicaciones complementarias importantes, la primera como alternativa para la gestión de RSO, reduciendo la contaminación y la segunda como bioinsumo para cubrir las necesidades nutricionales de los cultivos bajo manejo agroecológico.

Características del proceso de compostaje

Debido a que el compostaje es un proceso bio-oxidativo, exige una condición biológica que lo hace

diferente de procesos físico- químicos, así como de aquellos que no se realicen de forma aeróbica (Bueno Márquez *et al.*, 2008). En particular, es muy importante que se controlen las variables que puedan estar influidas por las condiciones ambientales, como la temperatura, la oxigenación y la humedad (Tognetti, 2007). Además, también influyen el tipo de residuo a tratar y el sistema de compostaje elegido.

En el “Manual de la red para la generación y desarrollo de tecnologías con base agroecológica y de producción orgánica” (Ullé, *et al.*, 2013) los productores agropecuarios pueden obtener información detallada de los conceptos generales del proceso de compostaje. El sistema de compostaje en pilas con volteo a campo ha sido adoptado ampliamente en nuestro país y se utiliza con éxito en todo el mundo para el tratamiento de los RSO del SAA. Se han publicado varios trabajos en Argentina sobre los mecanismos bioquímicos que afectan este proceso biológico con distintos tipos de residuos (Lavado, 2012), sin embargo las soluciones tecnológicas locales disponibles para la mecanización de los volteos y el seguimiento del proceso son escasas y muchas veces producto de adaptaciones de otras áreas.

En la actualidad el hecho que la gestión de los RSO sea una gran oportunidad de negocios para cualquier empresa hace que muchas veces no se tengan en cuenta los fundamentos biológicos de los sistemas de tratamiento (Soliva Torrentó *et al.*, 2008). Por lo tanto, la incorporación de tecnología debería hacerse de una manera objetiva teniendo en cuenta distintos aspectos: ambientales (consumo de agua, energía, emisiones gaseosas), económicos (inversión, costo de gestión, amortización de equipos), sociales (aceptación, calidad del producto final) y técnicos (posibilidad de aplicación, experiencia previa, versatilidad) y normativas vigentes (leyes, decretos, ordenanzas) (**Figura 1**).

Como lo muestran otros autores (Uliarte *et al.*) en el Capítulo 9 de este libro, con ensayos de pilas de compost a campo se pudo corroborar que la eficiencia del proceso depende de la combinación de varios factores, como la forma y tamaño de las pilas,

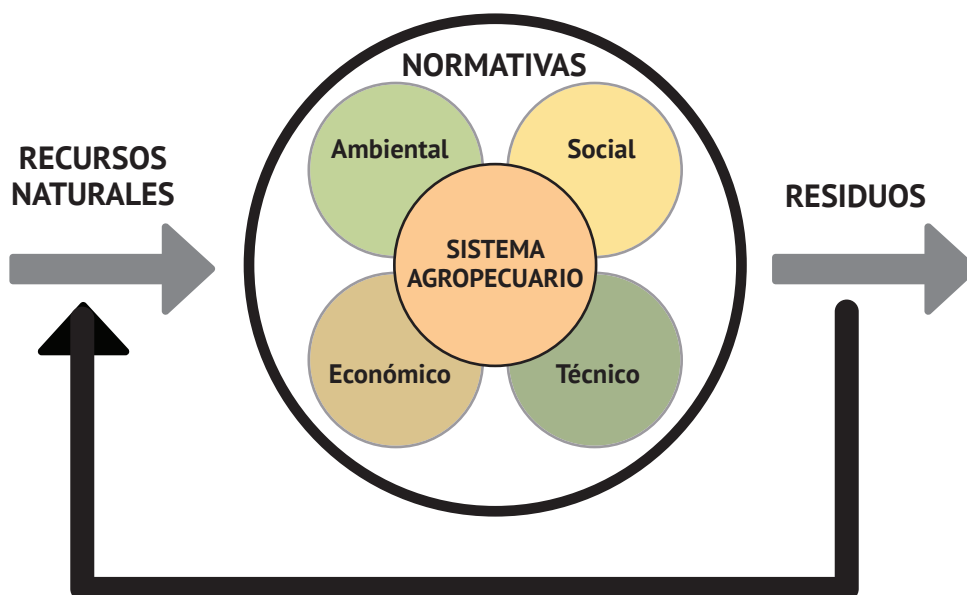


Figura 1. Aprovechamiento de residuos agropecuarios y valoración agronómica.

la cantidad de oxígeno, la temperatura, la humedad de los residuos utilizados, el tamaño de partículas, la actividad y el tipo de microorganismos involucrados. Sin embargo, se tiende a utilizar parámetros de seguimiento de proceso que sean sencillos y económicos (Mazzarino *et al.*, 2012a), por lo que los indicadores más adecuados para monitorear el proceso de compostaje son la humedad y la temperatura.

Los valores de humedad de la masa de residuos durante todo el proceso deben mantenerse dentro de porcentajes alrededor del 60 % (Leconte *et al.*, 2009). Esta variable resulta determinante para la correcta evolución del proceso ya que también en su inicio sirve para verificar la correcta homogeneización de los distintos residuos de partida y bajo condiciones ambientales predisponentes a la pérdida de humedad, este factor es la mayor limitante del proceso biológico. Además de la humedad es importante observar la evolución de temperatura en las pilas de compost. Este parámetro sirve para detectar los niveles de actividad biológica y verificar la presencia de temperaturas termofílicas (superiores a 55°C) indispensables de este proceso.

En la actualidad, la toma de datos se realiza en forma puntual (tanto temporal como espacial) mediante la inserción en las pilas de compost de una sonda con un termómetro y la obtención de muestras para la determinación en laboratorio (humedad gravimétrica). Esta metodología tiene inconvenientes, ya que las plantas de compostaje suelen estar alejadas de las zonas urbanas, y por limitaciones económicas y de personal no siempre es posible realizar el monitoreo diariamente.

La existencia de las normativas y ordenanzas vigentes para el adecuado tratamiento de los RSO y la demanda creciente de compost de mayor calidad, hace que los técnicos y operarios de las plantas de compostaje requieran de mejores herramientas tecnológicas para el seguimiento del proceso. La automatización y el envío remoto de los datos, constituye una solución viable ante la necesidad de programar periódicamente los riegos y la aireación mediante el volteo de las pilas.

Los volteos de las pilas de compost resultan imprescindibles para permitir el control de distintas variables físico-químicas. Este proceso facilita la

difusión del oxígeno, acelera la degradación física de las materias primas y proporciona una oportunidad para ajustar al nivel óptimo el contenido de humedad (Díaz *et al.*, 2005), un adecuado sistema de volteos permite optimizar el tiempo y la calidad del producto final. La mecanización de los volteos es la forma viable (por el tiempo y el costo) del manejo de residuos, ya que el volumen, el tamaño y la forma de las pilas a campo es crítica para lograr la biomasa de microorganismos responsables del proceso aeróbico.

Como en nuestro país no es una práctica común el compostaje de RSO a escala industrial, predomina el uso de palas mecánicas frontales montadas en un tractor (accionadas por el sistema hidráulico). El mecanismo de volteo con esta herramienta es acercarse de forma perpendicular por un costado a la pila de compostaje, tomar y elevar la mezcla de residuos y dejarlo caer desde la pala para permitir la homogenización y el intercambio gaseoso. Si bien el sistema es funcional (Mazzarino *et al.*, 2012b), la posibilidad de hacer extensivo el uso de maquinaria específica de producción local y de bajo costo, facilitaría y proporcionaría un adecuado control de las pilas de compost.

Por otro lado, una vez obtenido el producto final, una de los sistemas que se están utilizando actualmente para el manejo de los compost durante el ciclo del cultivo son los extractos acuosos, o té de compost, formas líquidas que permiten suministrar los nutrientes al cultivo por aspersión o por un sistema de riego por goteo. En particular, el uso del té de compost está ganando popularidad en la agricultura orgánica para mejorar la fertilidad biológica del suelo (Diver, 2002; Hargreaves *et al.*, 2009).

Se conoce como té de compost al producto obtenido luego de poner en remojo el compost en agua por un periodo de tiempo determinado, con el objetivo de transferir la MO soluble, microorganismos benéficos y macro-micro nutrientes a la solución (NOSB, 2004). El té de compost se puede preparar de forma aeróbica o anaeróbica. Algunos autores afirman que el té de compost sin aireación favorece el crecimiento de patógenos (Ingham,

2005). Los efectos de la aplicación de té de compost en el crecimiento vegetal, en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo han sido poco estudiadas en Argentina (Rodríguez *et al.*, 2012).

Desarrollo local de nuevas tecnologías para el compostaje

La temática abordada en este capítulo fu desarrollada en la EEA INTA Hilario Ascasubi, Buenos Aires. La misma se inició con un proyecto (2009-2012) y la posterior Red de Agroecología de INTA (2013-2018) ambos focalizados en la generación y desarrollo de tecnologías compatibles con la agroecología y la producción orgánica. Dentro de ello, el equipo de trabajo se abocó al estudio de tratamientos biológicos y la reutilización de residuos agropecuarios, como estrategia de fertilización en reemplazo de insumos de síntesis química. Se realizaron ensayos mediante la metodología de compostaje de pilas con remoción a campo para la obtención de enmiendas orgánicas aptas para uso agrícola.

Se escaló el proceso para que los productores agropecuarios puedan adoptar esta tecnología. Se comenzó con un primer prototipo de fabricación local (taller metalúrgico en Hilario Ascasubi para mecanizar las remociones. Éste fue validado con residuos de origen vegetal dando solución a la problemática territorial del Valle Bonaerense del río Colorado (VBRC) asociada a los galpones de clasificación y empaque de cebolla para exportación. Luego, mediante un convenio de Cooperación Técnica con una empresa metalmecánica del área de influencia del INTA E.E.A. Ascasubi, se rediseñó para poder ser comercializada debido a las consultas y demandas recibidas por el sector agropecuario y agroindustrial. De esta forma, se consiguió un modelo de utilidad que fue puesto en funcionamiento en distintas unidades de INTA: ensayos experimentales, jornadas con productores a campo y capacitaciones técnicas. Su funcionamiento se ha validado con diversos sustratos orgánicos con resultados satisfactorios (**Foto 1**).



Foto 1. Distintas experiencias de pilas de compost con volteo a campo.

Con la puesta en funcionamiento de este desarrollo, los productores pueden enmarcarse dentro de las leyes y normativas vigentes de disposición final y reutilización de residuos con el beneficio de obtener enmiendas orgánicas factibles de ser utilizadas en sistemas agropecuarios bajo manejo agroecológico.

Además de lo expuesto sobre el proceso de compostaje, se trabajó en la calibración de indicadores del proceso, sencillos, económicos y fáciles de usar, para facilitar el manejo del proceso biológico a los usuarios finales y obtener enmiendas orgánicas de calidad (libre de patógenos). De esta manera los productores y técnicos tienen la posibilidad de conocer en qué momento realizar las remociones de las pilas de residuos. Para eso se diseñó, fabricó y se puso en funcionamiento equipos electrónicos con baterías recargables automáticamente mediante un panel de energía solar (**Foto 2A**). Se adapta-

ron sensores de temperatura y humedad con envío de la información mediante telemetría (GSM/GPRS), de bajo costo y fabricación local para automatizar la adquisición de los datos. Junto a esto se programó un software para su visualización gráfica en una página web (**Foto 2B**).

Finalmente para poder obtener a partir del compost los extractos acuosos anteriormente mencionados, se desarrolló un tanque para automatizar y producir té de compost con valor nutricional para los cultivos (**Foto 3**).

Experiencias de compostaje en el Valle Bonaerense del río Colorado (VBRC)

El VBRC (Buenos Aires, Argentina) no queda exento de esta problemática y en consecuencia



Foto 2. A) Sensor instalado en pila de compost. B) Sistema telemetría transmisión de indicadores de proceso de compostaje.

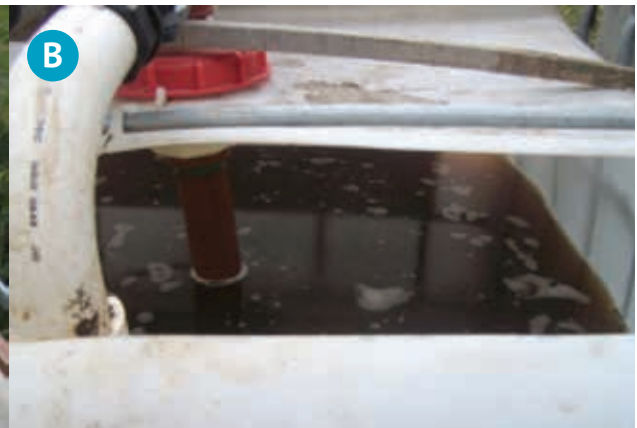


Foto 3. Vista superior del tanque para producir té de compost: A) bomba aireadora, B) producto final.

existen varios proyectos dedicados al tratamiento de RSO. En este territorio, la producción de cebolla genera residuos vegetales (hojas, pseudotallos, catáfilas de protección y raíces) producto de la cosecha, limpieza y clasificación de los bulbos. Se estiman unos 12.000 a 20.000 ton año⁻¹ de desechos.

La generación de los residuos se produce en todos los lotes cultivados, ya sea para la comerciali-

zación de la cebolla en el mercado interno o para ser llevada a los galpones de clasificación y empaque para exportación. El destino común en los campos es el de la incineración (fuente de contaminación ambiental) o incorporación al suelo (fuente de inóculo de enfermedades fitopatógenas).

En los galpones, la generación de residuos es intensiva, constituida por catáfilas (zona de cepillado)

y bulbos de descarte (línea de clasificación). En esta situación, los residuos también suelen ser quemados o trasladados a lotes cercanos para su apilado y degradación natural a la intemperie sobre el suelo.

Estas formas inadecuadas de descarte y tratamiento de los residuos de la producción de cebolla, además de producir el deterioro medio ambiental, generan una disminución en la calidad de vida de las poblaciones urbanas y periurbanas debido a la aparición de malos olores y de plagas sinantrópicas.

Es por esto que se han estudiado diferentes estrategias para solucionar los problemas producidos por estos residuos, con énfasis en el co-compostaje en una mezcla adecuada con otros RSO de acuerdo a las experiencias de otros autores (Martinez, 2008; Miglierina, 2011; Pellejero, 2015).

Preparación y manejo de las pilas de compostaje

El ensayo de compostaje se llevó a cabo en la “Unidad Demostrativa de Producción de Compost- E.E.A. INTA Ascasubi”, donde se realizó el acopio de residuos agropecuarios y armado de las pilas de compost. Desde un galpón de empaque dedicado a la clasificación, limpieza y exportación de cebolla de

la localidad de Hilario Ascasubi, se trasladaron residuos de origen vegetal, compuesto de un 80% de catáfilas de protección y 20% de bulbos de descarte (**Foto 4a**). El estiércol bovino provino de un establecimiento cercano a la estación experimental. El residuo se obtuvo del barrido para la limpieza de los corrales de encierre y engorde confinado del ganado (**Foto 4b**).

Para mejorar la porosidad de la mezcla inicial, se utilizó como agente estructurante rastrojo de avena (rollos enfardados). En la **Tabla 1** se pueden apreciar los valores obtenidos de los análisis físico-químicos de los RSO utilizados.

De acuerdo a estos resultados, y considerando las normas nacionales (SENASA, 2011) no existen limitaciones de uso de los materiales iniciales en relación a los elementos potencialmente tóxicos (llamados antiguamente elementos pesados) ya que todos se encuentran por debajo de los límites establecidos (los valores de referencia se muestran en la **Tabla 4**).

El sistema de compostaje elegido fue un sistema abierto de pilas con volteos. Se armaron tres pilas de compost: cada unidad experimental fue de 2 m de ancho, 1 m de alto y 15 m de largo, equivalente a 30 m³ aproximadamente. La mezcla se realizó con los residuos de cebolla (60%) y la cama



Foto 4. Carga y traslado de los residuos de cebolla A) y estiércol bovino B) utilizados para el armado de las pilas de compost.

Tabla 1. Caracterización de los materiales iniciales utilizados en el ensayo de compostaje.

Parámetro	Unidad	Cebolla	Rastrojo	Estiércol
Humedad	%	30,7	22,6	59,8
pH		4,44	6,90	9,63
CE¹	ds m ⁻¹	2,39	6,43	7,38
C_{ot}²	%	32,28	39,34	24,29
N_{ot}³		0,59	1,53	2,14
P	mg kg ⁻¹	89,6	74,9	10189
K		812	1216	38157
Ca		1224	498	9150
Mg		146	109	6855
Na		312	82	0,059
As		0,63	1,9	2,06
Cd		0,042	< 0,05	0,120
Cu		4,00	1,1	38,2
Ni		1,22	5,9	4,1
Pb		0,88	0,84	1,17
Zn	25	1,5	87	
Hg	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
Cr	0,93	4,7	3,0	

¹ CE: conductividad eléctrica, ² Cot: carbono orgánico total, ³ Not: nitrógeno Kjeldahl.

de cría de bovinos (40%), ambos sin picar (v:v). La composición química del residuo de cebolla hace que no pueda compostarse correctamente, por lo que al agregarle otro sustrato como fuente de N mejora la relación C/N de la mezcla.

Se comenzó el armado sobre una base de rastrojo de avena con la finalidad de absorber los lixiviados que pudieran llegar a ocurrir provenientes del estiércol. Se recurrió a un tractor con pala frontal para el armado de las pilas (**Foto 5**). La disposición de los materiales fue en capas individuales, cinco en total, conformándose las pilas con tres capas de estiércol (sobre la base, intermedia y final) y dos capas residuos de cebolla (entre las capas de estiércol). Luego al finalizar la última capa, se cubrió la



Foto 5. Tractor con pala armando pilas de compost.

Tabla 2. Análisis agua de riego utilizada para humedecer pilas compost

pH	CE ¹	ST ²	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	RAS ³	PSI ⁴
	ds m ⁻¹		mg l ⁻¹					mEq l ⁻¹		%
7,4	1,31	850	136	17	142	5	234	152	3	3,1

¹ CE: conductividad eléctrica, ²ST: sales totales, ³RAS: relación adsorción de sodio, ⁴PSI: porcentaje de sodio intercambiable. Laboratorio de Suelos y Agua de la EEA INTA H. Ascasubi.

totalidad de la pila con rastrojo. De acuerdo la caracterización de los materiales, la relación C:N que inicialmente ajustada en 30:1 (Richard y Trautmann, 2014), considerando el intervalo óptimo para el proceso de 25-35:1.

Se agregó agua mediante riego por aspersión de forma manual a cada capa individual conformada, utilizándose agua de perforación subterránea no potable (Tabla 2). Se esperó a que el material absorbiera el agua y se siguió regando hasta llevarlo al 60% de humedad, sin que el agua se escurra y se encharque para disminuir al mínimo el lavado de nutrientes.

Según los criterios de clasificación de agua para riego propuesta por FAO (Ayers y Westcot, 1987), el agua utilizada tiene riesgo débil a moderado debido a la salinización. Los demás indicadores de calidad del agua utilizada no mostraron limitaciones para la producción del compost

Se realizó un volteo mecánico con la removedora de compost para la homogenización de los materiales iniciales y de esta forma dar inicio al proceso de compostaje. Además, se llevaron a cabo tres vol-

teos mecánicos de acuerdo a las recomendaciones de la Norma IRAM 29556-1 (IRAM, 2011), éstos garantizan las condiciones aeróbicas necesarias y la homogeneización de los materiales.

Durante el compostaje el parámetro de seguimiento del proceso de las pilas fue la evolución de la temperatura y la humedad, tomándose las temperaturas periódicamente en tres sectores de las pilas de compostaje y en dos profundidades (Figura 2a). Se corrigió el contenido de agua con periodicidad mediante riego por aspersión manual para evitar el descenso de la humedad a niveles críticos.

Toma y preparación de las muestras de compost

Durante el proceso se tomaron muestras compuestas de cada una de las tres pilas a los 30, 60 y 90 días de iniciada de la experiencia (Figura 2b). Además, se tomó una muestra compuesta del compost, como producto final, a los 140 días.

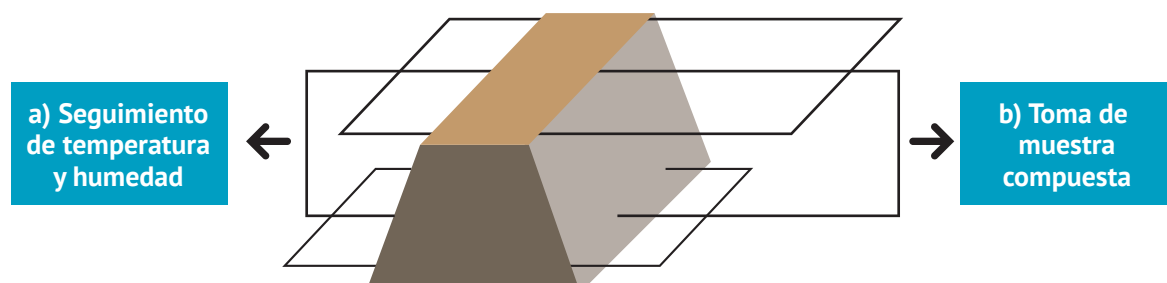


Figura 2. a) Sectores de monitoreo y b) de muestreo para los análisis.

En el laboratorio, las muestras se dispusieron en bandejas plásticas para ser secadas en estufa con aire forzado a 40°C. Posteriormente las muestras se trituraron con molino de cuchillas (Micro Soil®, FT102), se tamizaron por 5 mm (Leconte *et al.*, 2009) y se conservaron en frascos de plásticos hasta la realización de las determinaciones analíticas.

Análisis de las muestras de compost

Se determinó el porcentaje de humedad por gravimetría (peso constante 48 hs en estufa a 105°C), por diferencia de peso entre el material húmedo y el material seco (Rynk, 1992). Se determinó el pH (potenciométrico) y la CE (conductimetría) en extracto acuoso: 1:10, 1 h de agitación y filtrado (García *et al.*, 1991; Laos *et al.*, 2002). El carbono orgánico total (C_{ot}) se analizó por el método de combustión seca en un equipo con detector infrarrojo (Leco®, CR12) y el nitrógeno orgánico total (N_{ot} : N orgánico y $N-NH_4^+$) por el método de semi-micro Kjeldahl con un equipo de destilación semi-automático (JP Selecta®, Pro-Nitro S). Se estimó la relación C/N como el cociente entre C_{ot} y N_{ot} . El contenido de nutrientes totales de P, K, Ca, Mg, Na se determinó mediante digestión ácida en microondas (CEM®, MARS-5) y posterior determinación con un espectrómetro de emisión atómica por plasma (Shimadzu®, 9000) de acuerdo al método U.S. EPA 200.7 (Martin *et al.*, 1994). Se analizó el contenido de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) regulados por la Res. 264/11 de SENASA: Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg y Cr, por espectrómetro de emisión atómica por plasma. Todas las muestras fueron analizadas en el laboratorio LANAQUI y LabSPA- CERZOS- CONICET- Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina).

Proceso de compostaje y caracterización agronómica del compost.

Durante los primeros siete días del compostaje de residuos de cebolla y estiércol, se produjo un mar-

cado incremento de la temperatura superando los 50°C (con una oscilación entre 51 y 55°C según la pila) y alcanzándose la etapa termofílica (mayores a 45°C) como puede verse en la **Figura 3**. El rápido incremento y el mantenimiento de temperaturas elevadas indicaron que el proceso comenzó de manera adecuada, coincidiendo con otros autores que trabajaron con el mismo tipo de residuos y con otros diferentes (Tognetti, 2007; Leconte, 2010; Martínez *et al.*, 2008; Pellejero *et al.*, 2015).

El volteo inicial de las pilas homogeneizó el material lo cual mejoró la porosidad, el crecimiento poblacional microbiano proveniente del estiércol y la aireación (Cáceres *et al.*, 2005). Adicionalmente, a los 20, 50 y 80 días se realizó la remoción mecánica de las pilas. Durante los volteos, el material de la parte más externa de la pila se incorporó dentro de la misma, convirtiéndose en sustrato degradable para la biomasa microbiana (García Gómez *et al.*, 2003). La remoción de las pilas provocó un descenso de la temperatura dado por un exceso de aireación y pérdida de humedad. Alrededor del día 100 la temperatura se estabilizó asumiendo la culminación de la etapa bio-oxidativa, manteniéndose constante hasta los 120 días. Luego se dejó madurar y estabilizar la MO dándose por finalizado el proceso a los 140 días debido a los cambios de color y olor observados en relación a la mezclas de residuo inicial.

El pH es un parámetro importante para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos. En las tres pilas el compostaje se inició con valores cercanos a la neutralidad. Durante el inicio de la etapa termofílica se incrementa el pH debido a la liberación de amonio y de cationes alcalinos durante la degradación de la MO (Canet *et al.*, 2008). A los 140 días el proceso se completó con pH de 8,6 del compost como producto final (Tabla 3). El pH alcalino se puede atribuir a los niveles elevados de HCO_3^- en el agua de riego utilizada para corregir y mantener la humedad de las pilas de compost al 60% durante todo el proceso (**Tabla 2**).

La CE ofrece información sobre el contenido de sales solubles de la mezcla de RSO en compostaje.

En todos los muestreos durante el proceso se observó un leve incremento de la CE debido probablemente a la mineralización de la MO, y la liberación de sales solubles como consecuencia de la actividad microbiana (Bueno Márquez *et al.*, 2008; Leconte *et al.*, 2009). Finalmente, las tres pilas mostraron una tendencia a la disminución de la CE obteniéndose los valores mínimos en el muestreo del producto final (Tabla 3). Estos descensos pueden atribuirse al lavado de sales durante el proceso (Laos, 2002).

La relación C/N del compost se usa tradicionalmente como índice para determinar la madurez y estabilidad de la MO (Masaguer Rodríguez y Benito Capa, 2008). De acuerdo a los valores obtenidos (Tabla 3), la relación C/N del producto final indicaría un buen grado madurez, y el compost se podría utilizar como enmienda en la producción agrícola, coincidiendo con los valores propuestos para considerar el final del proceso de compostaje menor a 20 (Golueke, 1977; Zucconi y De Bertoldi, 1987; Iglesias Giménez y Pérez García, 1989).

Tal como se expuso anteriormente, los valores obtenidos de pH serían limitantes para el empleo de estos productos como sustratos en la producción de plantines en contenedores. Una alternativa para disminuir el pH es la adición de azufre elemental micronizado o la mezcla con materiales ácidos (Barbaro *et al.*, 2010). Con relación a la CE, los valores estarían dentro de los rangos normales para uso agronómico sin restricción de acuerdo al Reglamento para el Registro de Fertilizantes y Enmiendas de SENASA (Resolución 264/2011) que establece restricciones de uso para valores mayores a 4 dS m⁻¹. Si bien las hortalizas en general son sensibles a las altas concentraciones de sales solubles, si

la CE es inferior 6 dS m⁻¹, no se espera toxicidad por sales (Ozores-Hampton, 2010). El contenido de nutrientes en los compost es variable, depende de los contenidos iniciales en los materiales de partida o de las posibles pérdidas o transformaciones a lo largo del proceso (Zaccheo *et al.*, 2002). De acuerdo a los valores de macro nutrientes el compost presentó valores adecuados de alta calidad para uso agronómico (Tabla 3).

El contenido de elementos potencialmente tóxicos (EPT) puede limitar su uso en agricultura, altas concentraciones pueden disminuir la productividad a causa de su fitotoxicidad además de acumularse en los tejidos vegetales. Se analizaron en el compost los valores de Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn (SENASA, 2011) y se incluyeron otros tres EPT (As, Mo y Se) para poder comparar con las regulaciones de otros países (Tabla 4). Los valores encontrados resultaron inferiores a los límites máximos establecido, por lo que indicaría la posibilidad de aplicación en suelos agrícolas.

Los valores de EPT encontrados tampoco serían limitantes para las cantidades anuales que se podrían introducir de estos elementos en los suelos (kg ha año⁻¹), considerando una dosis óptima para cumplir con los requerimientos nutricionales de N en cultivos hortícolas.

Consideraciones finales

Como hemos visto en este capítulo, mediante el seguimiento del proceso de compostaje, se puede obtener una enmienda de calidad de alto valor agronómico. Los resultados de esta experiencia de-

Tabla 3. Composición del compost obtenido

	Variable									
	pH	CE	C _{ot}	MO	N _{ot}	C _{ot} /N _{ot}	P	K	Ca	Mg
		ds m ⁻¹		%				mg kg ⁻¹		
Compost^a	8,61	3,03	19,50	35,10	1,39	14,02	209	638	211	492

^a Valores sobre materia seca.

Tabla 4. Concentración de EPT en compost y valores máximos permitidos

EPT	Compost	Valores límite ⁽¹⁾		
		Argentina ^a	Canadá ^b	Francia ^c
As	0,59	-	13	18
Cd	< 0,1	3	3	3
Cr	0,68	270	210	120
Cu	11,5	450	100	300
Hg	mg kg ⁻¹ < 0,05	-	0,8	2
Ni	1,7	120	62	60
Pb	0,27	150	150	180
Se	< 0,1	-	2	12
Zn	31	1100	500	600

^a SENASA, 2011; ^b AAFC, 1995 ; ^c AFNOR, 2005.

mostraron la viabilidad de tratar los RSO de origen agropecuario mediante una tecnología simple y de bajo costo. Los volteos realizados en las pilas fueron suficientes para lograr adecuada aireación en toda la mezcla, logrando controlar la temperatura y ayudando a regular la humedad. Esto corrobora la necesidad de efectuar los volteos ya que resultaron favorables para la actividad de los microorganismos responsables de la degradación de los RSO. Con esta técnica, se podría reciclar y disminuir los altos volúmenes de los RSO que se producen evi-

tando pérdidas de nutrientes al medio ambiente.

Para asegurar un uso sostenible de la fertilidad edáfica (química, física y biológica), se recomienda en los sistemas de producción agroecológica la aplicación de abonos previamente compostados. Una vez tratados los residuos un enfoque analizando múltiples parámetros constituye la mejor opción para la evaluación del impacto de la aplicación de abonos orgánicos, sobre la microbiota y la MO del suelo, lo cual es de suma importancia para su uso seguro en la agricultura y el medio ambiente.

Bibliografía

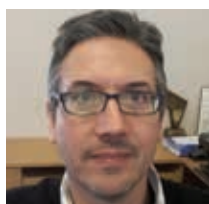
- AAFC. 1995. Support document for compost quality criteria. CAN/BNQ 0413-200. The Canadian Council of Ministers of the Environment. Pp.: 43.
- AFNOR. 2005. Dénominations, spécifications et marquage. Pr NF U 44-051. Association Française de Normalisation. (Organic soil improvers: Composts containing substances essential to agriculture, stanning from water treatment).
- Altieri, M.A. 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Ed. Nordan-Comunidad. Montevideo, Uruguay. Pp.: 325.
- Ayers, R.S. y D.W., Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO. Riego y Drenaje. N° 29, Rev. 21. Pp.: 174.
- Barbaro, L.A.; MA., Karlanian y D., Morisigue. 2010. Utilización de azufre micronizado en la corrección del pH de compost de residuos de poda. *Agriscientia*, 26(2): 125-130.
- Bueno Márquez, P.; M., Díaz Blanco y F., Cabrera Capitán. 2008. Factores que afectan el proceso de compostaje. En: Moreno Casco, J. y Moral Herrero, R. (Eds.). *Compostaje*. Madrid, España. Mundi Prensa. Capítulo 4: pp.: 93-110.
- Cáceres, R.; Flotats, X. y Marfá, O. 2005. Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies. *Waste Manag.*, 26: 1081-1091.
- Canet, R.; F, Pomares; B., Cabot; C., Chaves; E., Ferrer; M., Ribó y M.R., Albiach. 2008. Composting olive mill pomace and other residues from rural southeastern Spain. *Waste Manag.*, 28(12): 2585-92.
- Cegarra Rosique, J. y C., Paredes Gil. 2008. En: Moreno Casco, J. y Moral Herrero, R. (Eds.). *Compostaje*. Mundi Prensa. Capítulo 22: pp.: 520-551. Madrid, España.
- Diaz, L.; G., Savage y N., Goldstein. 2005. Windrow turner equipment review. *BioCycle*, 46(3): 36.
- Dickson, N.; T., Richard y R., Kozlowski. 1991. Composting to reduce the waste stream. Northeast Regional Agricultural Engineering Service-43. Pp.: 53.
- Diver, S. 2002. Notes on Compost Teas: A Supplement to the ATTRA Publication: Compost Teas for Plant Disease Control, Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA). <http://www.attra.ncat.org>
- Entrena Durán, F. 2005. Procesos de periurbanización y cambios en los modelos de ciudad: un estudio europeo de casos sobre causas y consecuencias. *Papers: Revista de Sociología*, 78: 59-88.
- Frioni, L. 2006. *Microbiología: básica, ambiental y agrícola*. Ed.: Departamento de Publicaciones de la Facultad de Agronomía. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Montevideo, Uruguay. Pp.: 373-383.
- García, C.; T., Hernández y F., Costa. 1991. Study on water extract of sewage sludge composts. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37(3): 399-408.
- García Gómez, A.; A., Roig y M.P., Bernal. 2003. Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity. *Bioresour. Technol.*, 86: 59-64.
- Golueke, C.G. 1972. *Composting: a study of the process and its principles*. Emmaus, Rodale Press. Pennsylvania, EEUU. Pp.: 110.
- Hargreaves, J.C.; M.S., Adla y P.R., Warman. 2009. Are

- compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects. *J. Sci. Food Agric.*, 89: 390-397.
- Ingham, E.R. 2005. The compost tea brewing manual. Sustainable Studies Institute. Oregon, EEUU. Pp.:79.
- IRAM. 2011. Compostaje. Parte 1: Conceptos básicos, factibilidad del tratamiento y criterios de calidad del proceso. Norma 29556-1.
- Laos, F.; M.J., Mazzarino; I., Walter; L., Roselli; P., Satti y S., Moyano. 2002. Composting of fish offal and biosolids in northwestern Patagonia. *Biore-sour. Technol.*, 81: 179-186.
- Lavado, R.S. 2012. Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. En: Mazzarino M.J. y Satti P. (Eds.). *Compostaje en la Argentina: experiencias de producción, calidad y uso*. UNRN-Orientación gráfica. Bs. As., Argentina. Pp.: 3-12.
- Leconte, M.C.; M.J., Mazzarino; P., Satti; M.C., Iglesias y F., Laos. 2009. Co-composting rice hulls and/or sawdust with poultry manure in NE Argentina. *Waste Manag.*, 29: 2446-2453.
- Leconte, M.C. 2010. Efecto del agregado de estiércol de gallina en el compostaje de aserrín y cascari-lla de arroz. Tesis de Doctorado. Universidad Na-cional Nordeste. Corrientes, Argentina. Pp.: 199.
- Martin, T.D.; C.A., Brockhoff y J.T., Creed. EMMC Methods Work Group. 1994. Method 200.7, Re-vision 4.4: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. EPA, EEUU.
- Martínez, R.M.; A.M., Miglierina; M., Luna; A., Van Konijnenburg y G., Pellejero. 2008. Evaluación del compostaje del procesamiento de la cebolla. *Pilquen*, 10(9): 1-8.
- Masaguer Rodríguez, A. y M., Benito Capa. 2008. Evaluación de la calidad del compost. En: More-no Casco, J. y Moral Herrero, R. (Eds.). *Compostaje*. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp.: 285-304.
- Mazzarino, M.J., Satti, P., Laos, F., Roselli, L., Crego, M.P., Kowaljow, E., Fernández, H. y L. Poulsen. 2012a. Compostaje de biosólidos: 12 años de la Planta de Bariloche. En: *Compostaje en Argenti-na: Experiencias de Producción, Calidad y Uso* Mazzarino, M.J. y P., Satti (Eds.). UNRN y Orienta-ción Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. Pp. 99-106
- Mazzarino, M.J.; P., Satti y L. Roselli. 2012b. Indica-dores de estabilidad, madurez y calidad de com-post. En: *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso* Mazzarino, M.J. y P., Satti (Eds.). UNRN y Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. Pp.: 13-28.
- Miglierina, A.M.; M.E., Ayastuy; R.A., Rodríguez; J.A., Fernández y A., Van Konijnenburg. 2011. Alter-native materials as substrates for seedlings pro-duction. En: Pascual, J.A. y F., Pérez-Alfocea (Eds.). *Vth International symposium on seed, transplant and stand establishment of horticultural crops*, Murcia, España. *Acta Hort.*, 898: 211-218.
- NOSB: National Organic Standards Board. 2004. Compost Tea Task Force Report. <http://www.ams.usda.gov/nosb/meetings/CompostTeaTaskFor-ceFinalReport.pdf>
- Ozores-Hampton, M. 2010. Guía para la Utilización Exitosa del Compost en la Producción de Horta-lizas. HS1161. Universidad de la Florida, EEUU. Pp.:6.
- Pellejero, G.; A., Miglierina; G., Aschkar y R., Jimé-nez-Ballesta. 2015. Composting Onion (*Allium cepa* L.) wastes with Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Cattle Manure Assessment. *Agric. Sci.*, 6: 445-455.

- Prono, A.R.; C.A., Martín y M.J., Mazzarino. 2010. Efectos de la relación C/N y de la humedad inicial sobre la eficiencia del compostaje en sistemas a escala banco-laboratorio. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario Argentina.
- Richard, T. y N. Trautmann. 2014. Moisture and Carbon/Nitrogen Ratio Calculation Spreadsheet. Cornell Waste Management Institute, Cornell University. Disponible en: http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html
- Rodríguez, R.A.; A.M., Miglierina; M.E.; M.E., Ayastuy; J.C., Lobartini; N., Dagna; N., Greco; A., Van Konijnenburg; C., Egea y J.A., Fernández. 2012. The effect of different organic fertilization on garlic (*Allium sativum* L.) in Bahía Blanca region. *Acta Hortic.*, 933: 187-194.
- Rynk, R. 1992. On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension Service. Ithaca, Nueva York, EEUU. Pp.: 186.
- Saval, S. 2012. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 16(2): 14-46.
- Sasal, C.; A., Andriulo; J., Ulle; F., Abrego y M., Bueno. 2000. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas en sistemas de producción hortícola del centro norte de la Región Pampeana Húmeda. *Ciencia del Suelo (Arg.)*, 18(2): 95-104.
- SENASA. 2011. Resolución 264/2011, Anexo 1. Manual para el registro de fertilizantes, enmiendas, sustratos, acondicionadores, protectores y materias primas en la República Argentina. Capítulo 14. Ley Nacional N° 20.466.
- Soliva Torrentó, M. y M., López Martínez. 2004. Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora. CENEAM/MI-MAM, Valsain. Pp.: 20.
- Soliva Torrentó, M.; M., López Martínez y O., Huerta Pujol. 2008. Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje. En: Moreno Casco J. y R., Moral Herrero R. (Eds.) *Compostaje*. Mundi Prensa. Madrid, España. Pp: 75-92.
- Tognetti C. 2007. Compostaje de residuos orgánicos urbanos: optimización del proceso para una mayor calidad del producto final. Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Comahue. Bariloche, Argentina. Pp.:175.
- Ullé, J. Eds./Comp. 2013. Bases tecnológicas de sistemas de producción agroecológicos. *Nodos Agrícola Ganadero, Horticultura Orgánica y Cultivos Perennes*. Ed. INTA.
- Zaccheo, P.; G., Ricca; y L., Crippa. 2002. Organic matter characterization of composts from different feedstocks. *Compost Sci. Util.*, 1: 29-38.
- Zucconi, F. y M., de Bertoldi. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. En: de Bertoldi, M.; M.P., Ferrati; P.L., Hermite y F., Zucconi. (Eds.). *Compost production, quality and use*. Elsevier Applied. Sc. Publisher. Londres, Reino Unido. Pp.: 30-51.

CAPÍTULO 9

VITICULTURA SUSTENTABLE EN LOS VALLES IRRIGADOS DE MENDOZA: EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS PARA INCREMENTAR LA RESILIENCIA DE AGRO-ECOSISTEMAS FRÁGILES



Ernesto Martín
Uliarte¹



Florencia Noemí
Ferrari¹



Laura Elizabeth
Martínez¹



Carla Vanina
Dagatti¹



Alejandro Omar
Ambrogetti¹



Marcos Adrian
Montoya¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Mendoza

Correo electrónico: uliate.ernesto@inta.gob.ar

Resumen

La agricultura de la provincia de Mendoza, en el centro-oeste de Argentina, se localiza en oasis dentro de ecosistemas áridos y semiáridos de baja fertilidad edáfica, por lo que depende del agua de deshielo de la Cordillera de los Andes para el riego de los cultivos. Son agroecosistemas frágiles donde el cambio climático tendrá un impacto significativo por aumento de temperatura, incremento de lluvias estivales y reducción de precipitación nival invernal, lo que determinará mayor demanda y menor provisión de agua para riego. Mendoza es la principal productora de vinos, posee 70% de la superficie de vid implantada en Argentina. Las prácticas agrícolas convencionales, que incluyen labranza profunda y uso intensivo de agroquímicos, generan graves desequilibrios ecológicos. La problemática requiere de un rediseño de los sistemas vitícolas y el replanteo de sus prácticas. En la Estación Experimental Mendoza del INTA se trabaja en la transición hacia sistemas vitícolas con enfoque agroecológico. En una parcela demostrativa y experimental de vid, se establecieron corredores biológicos y diversos cultivos de cobertura, se estudiaron diferentes metodologías de compostaje y obtención de té de compost, bioles y su aplicación periódica al cultivo. Se investigaron tecnologías alternativas para el control de malezas y programas fitosanitarios de menor impacto. Las prácticas propuestas permitieron aumentar la biodiversidad, favorecer el equilibrio ecológico, mejorar la fertilidad del suelo y alcanzar niveles productivos próximos a los del manejo convencional. En el transcurso de nueve temporadas agrícolas, se logró mantener satisfactoriamente las condiciones sanitarias del viñedo. Finalmente, los costos operativos de esta parcela en la temporada 2017/18 se aproximaron a los de un viñedo contiguo bajo manejo convencional.

Palabras clave: viñedos, sostenibilidad, agroecología, transición, manejo

Abstract

The agriculture of the province of Mendoza, in West-Central Argentina, is located in oasis within arid and semi-arid ecosystems of low soil fertility, so it depends on melting water of the Andes Mountains Range for the irrigation of crops. They are fragile agroecosystems where climate change will have a significant impact by increased temperature, winter snowy precipitation reduction and increased summer rainfall, which will determine increased demand and lower water supply of water for irrigation. Mendoza is the main producer of wines, has 70% of the surface of grapevines in Argentina. Conventional agricultural practices, which include deep tillage and intensive use of agrochemicals, generate serious ecological imbalances. This problem requires a redesign of the wine-growing systems and rethinking their practices. The Experimental Station of INTA Mendoza works on the transition to growing systems with an agro-ecological approach. In a demonstrative and experimental plot of vines, biological corridors and diverse cover crops were established, studying different methodologies of composting, compost tea production, bio-slurry elaboration and their periodic application to the crop. We also evaluated alternative technologies for weed control and phytosanitary programs of lower environmental impact. The proposed practices allowed to increase biodiversity, favor ecological balance, improve soil fertility and achieve production levels close to those of conventional management. In the course of nine agricultural seasons, this management was able to satisfactorily maintain the sanitary conditions of the vineyard. Finally, the operating costs of this experimental plot in the 2017/18 season were close to an adjacent vineyard under conventional management.

Keywords: vineyards, sustainability, agroecology, transition, management

1. Introducción

Los valles cultivados de la provincia de Mendoza, en el centro-oeste de Argentina, se clasifican como ecosistemas áridos y semiáridos con bajas precipitaciones (200 a 400 mm por año) y elevados potenciales de evapotranspiración durante los meses de verano (6 a 7 mm por día), por lo que la agricultura depende del riego (Catania *et al.* 2012). El agua proveniente de la nieve de la Cordillera de los Andes es un recurso escaso y uno de los principales factores limitantes para asegurar la producción agrícola en el territorio. Los suelos de la región poseen un claro déficit de materia orgánica, que a menudo determina una baja fertilidad física, química y biológica. Los modelos predictivos del cambio climático pronostican a escala regional, una mayor demanda de evapotranspiración debido al aumento de la temperatura y una menor provisión de agua por disminución de la precipitación nival en la cordillera. No obstante, se prevé un aumento de las precipitaciones estivales en el llano y el piedemonte, con intensificación de eventos extremos de precipitación y sequía (Villalba 2009).

La provincia de Mendoza posee una importante actividad agrícola especializada en cultivos hortícolas y frutales, con predominio de la vitivinicultura, siendo la principal provincia productora de uva con 155.901 hectáreas, lo cual representa algo más del 70% de la superficie total con vid en el país (INV 2017). Esta actividad se realiza principalmente bajo riego superficial (85%) y en menor medida con riego presurizado (15%) (Morábito 2011). La adopción del riego presurizado mejora la eficiencia del riego y además permite expandir las fronteras de la vid hacia áreas naturales marginales, previamente definidas como no cultivables. En muchos casos

este crecimiento no considera importantes riesgos ambientales, a ello se suma el avance urbano sobre zonas tradicionalmente vitícolas, ambos factores contribuyen a la generación de nuevos conflictos socio-ambientales que requieren atención.

El laboreo del suelo convencional, mediante labranzas con arado de reja y vertedera, que en algunos casos son reemplazadas por la aplicación de herbicidas, y el uso intensivo de otros agroquímicos, generan graves desequilibrios ecológicos, tales como, la reducción de la infiltración de agua, el aumento de la escorrentía, mayor riesgo de erosión y compactación del suelo, problemas de tracción en maquinaria, disminución de la fertilidad, pérdida de biodiversidad, perjuicios a insectos benéficos, contaminación del suelo, el agua, y potenciales riesgos para la salud humana (FAO 2002). Asimismo, diversos factores intervienen en la efectividad de los tratamientos fitosanitarios debido al estado del equipamiento, método de aplicación, condiciones ambientales, tipo de objetivo, producto utilizado, finalmente la aptitud y actitud del operario. Todos estos elementos y sus diferentes componentes se interrelacionan y condicionan el éxito del tratamiento. La complejidad para controlar todos estos factores intervinientes determina una elevada ineficiencia en las aplicaciones de agroquímicos. En viñedos se verifica que la proporción del líquido pulverizado que queda en la vegetación objetivo es menor o igual al 55% del volumen total aplicado, cerca del 25% acaba en el suelo y el 20% restante se pierde en el aire (Panneton & Lacasse 2001, Balsari & Marucco 2009). Estas pérdidas por deriva además de reducir la eficacia del tratamiento y representar una significativa pérdida económica,

provocan un efecto ambiental negativo y de riesgo para la salud humana al contaminar el suelo, agua y aire. Como ejemplo concreto se puede citar el aumento de metales pesados como el cobre y el cadmio, detectado en suelos agrícolas, mayormente vitícolas de Mendoza, en comparación con suelos vírgenes no cultivados, lo cual estaría vinculado a la aplicación de productos cúpricos para el control de enfermedades fúngicas (Martí *et al.* 2011). Muestras realizadas por el organismo de control SENASA entre los años 2011 y 2016, en los principales mercados concentradores de frutas y hortalizas de Argentina, detectan presencia de pesticidas en alrededor del 60% de las muestras analizadas, cerca del 10% de ellas superando el límite máximo de residuos. Asimismo se identifican diversos principios activos para cada alimento (SENASA 2017).

Ante esta situación, se acrecienta la preocupación de los consumidores por el riesgo de contaminación y la búsqueda de alimentos seguros y saludables (Novelli 2018). Los vitivinicultores preocupados por los diversos impactos de los agroquímicos buscan alternativas a las prácticas habituales pero se encuentran con los siguientes problemas antes de iniciar una transición hacia la agroecología:

- Escasa diversidad parcelaria: en las fincas mendocinas predomina el monocultivo de la vid.
- Baja fertilidad del suelo: escasos contenidos de materia orgánica, nutrientes y reducida actividad biológica.
- Limitadas alternativas de insumos de bajo impacto, que puedan sustituir a los agroquímicos tradicionales, y de elevado valor económico.
- Mayor necesidad de mano de obra en ciertas tareas específicas.
- Inicialmente se perciben mayores costos productivos.
- Menores rendimientos en el inicio de la transición.

La problemática de la viticultura regional requiere de un rediseño de los agroecosistemas vitícolas y un replanteo de sus prácticas agrícolas. Se considera que la etapa de sustitución de insumos y rediseño del sistema de manejo es la más crítica

y de mayor vulnerabilidad dentro de la transición agroecológica (Tittonell 2014). Por ello, en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Mendoza del INTA se trabajó en la evaluación de diferentes prácticas para la transición hacia sistemas sostenibles de manejo del cultivo. El objetivo fue desarrollar tecnologías que faciliten la gestión de viñedos con un enfoque agroecológico.

Parcela demostrativa de vid bajo manejo agroecológico

En el año 2009 se inició el proceso de transición para el manejo de 4,5 ha de vid ubicadas en Mayor Drummond, Luján de Cuyo, hacia un sistema de cultivo con enfoque agroecológico (Uliarte *et al.* 2013a). Las vides, plantadas con un espaciamiento de 1,5 m entre plantas y 2,5 m entre hileras, son conducidas mediante poda corta, con pitones de dos yemas dispuestos en cordones bilaterales, en un sistema de espaldero alto. La parcela posee riego superficial por melgas sin pendiente en el sentido de las hileras de 142 m de largo.

El cuadro de cultivo, implantado en el año 1994, se aproxima a un rectángulo de 120 x 600 m que incluye a los viñedos y un sector inculto. Al oeste limita con una autopista y posee un cerco de *Pyracantha coccinea*, en el límite sur se encuentra el predio de una empresa de transportes separado por una cortina forestal de álamos y olivos, mientras que al este se ubica un barrio residencial privado. El límite norte es el único que colinda con otro cultivo de vid y al inicio de la experiencia no poseía cortina vegetal (**Foto 1**).

En sus inicios la parcela se enmarcó en el proceso de certificación bajo la normativa de la ley de producción orgánica Argentina. Luego de tres años de manejo de transición, en la temporada 2012/13, se alcanzó la certificación de uvas orgánicas correspondientes a 2,8 ha del cv. Cabernet sauvignon y 1,7 ha de cv. Sauvignon blanc. En el año 2017 se decidió reducir el tamaño de la parcela a 2 ha de cv. C. sauvignon y discontinuar la certificación formal



Foto 1. Ubicación de la parcela demostrativa de vid bajo manejo agroecológico en Luján de Cuyo, Mendoza. La línea roja delimita la finca de la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza del INTA y sombreado en verde se indica la parcela.

manteniendo el esquema de las prácticas de manejo.

La unidad demostrativa cuenta además con un depósito propio para almacenar insumos y maquinarias de uso exclusivo, como por ejemplo la pulverizadora. En un sector inculto próximo al cultivo se estableció una playa para la elaboración de compost.

La parcela es utilizada para experimentar diferentes prácticas de manejo a escala de un productor vitícola medio a pequeño, y a la vez funciona como viñedo demostrativo siendo visitado por productores, estudiantes y profesionales, en el marco de días de campo, jornadas y reuniones técnicas.

Desafíos ante la transición de manejo del viñedo: sustitución de insumos y re-diseño del sistema

A partir de un sistema inicial de cultivo de vides de 15 años de antigüedad, bajo prácticas habituales de manejo en la viticultura regional: mediante la aplicación de pesticidas para control de plagas y

enfermedades, utilización eventual de fertilizantes de síntesis, aplicación de herbicidas (principalmente glifosato) y labranzas periódicas para el control de malezas, se propuso un cambio en la gestión abordando ejes temáticos considerados claves para fomentar los principios agroecológicos: diversidad, fertilidad (en el suelo y el cultivo), actividad biológica (en el sistema) y protección integrada. Para ello se consideró ocuparse de pilares de trabajo que influyen sobre los distintos ejes temáticos definidos, estos son: corredores biológicos, cultivos de cobertura, enmiendas orgánicas, opciones para el control de malezas y pesticidas alternativos.

Aumento de diversidad

Corredores biológicos

Se propuso el establecimiento de un corredor biológico en el límite norte de la parcela, compuesto por especies floríferas de bajo requerimiento hí-

drico, con mediano y bajo porte, para aumentar la biodiversidad y como barrera física (3 m de ancho y 310 m de largo) entre la parcela orgánica y el viñedo bajo manejo convencional (**Fotos 2 y 3**). En el año 2010, se trasplantaron más de 25 especies diferentes, nativas y exóticas, buscando mantener floración durante todo el año. La flora provee de alimento y refugio a insectos benéficos con potencial para el control de plagas, favoreciendo sus parámetros biológicos y reproductivos así como su movimiento. Entre las especies implantadas se encuentran: *Hyalis argentea*, *Acantholippia seriphoides*, *Artemisia mendozana*, *Senecio subulatus*, *Salvia elegans*, *S. greggii*, *S. farinacea*, *Hymenoxys acaulis*, *Glandularia tenera*, *Tagetes lucida*, *Bulbine frutescens*, *Euphorbia rigida*, *Lavandula sp.*, *Santolina chamaecyparissus*, *Westringia fruticosa*, *Viguiera stenoloba*, *Verbena rigida*, *Heterothalamus alienus*, *Rosmarinus officinalis*, *Ruta graveolens*, *Cercidium praecox*, *Senna aphylla*, *Caesalpinia guilliesii*, *Larrea cuneifolia*, *L. divaricata*, *L. nitida*, *Atriplex lampa* y *Aloysia gratissima*.

Complementariamente, se incorporó una franja de cultivo con alfalfa, inicialmente de 10 m de ancho por 150 m de largo, y que se amplió en 2013 a 60 m de ancho, para separar el la parcela de un sector inculto ubicado en el límite este (**Foto 4**). De la misma manera, se buscó proporcionar a enemi-

gos naturales de condiciones óptimas para favorecer su establecimiento y reproducción. Para ello se realizaron cortes alternos de la cobertura verde para mantener el mayor tiempo posible al cultivo en floración.

Cobertura vegetal polifítica

En el sitio interfilas del viñedo orgánico se sembró, en el mes de septiembre de 2010, un cultivo de cobertura polifítico permanente con especies herbáceas anuales y perennes (**Fotos 5 y 6**). La mezcla de especies estaba formada por gramíneas (*Festuca rubra*, *Lolium perenne*, *L. multiflorum*, *Bromus catharticus*), leguminosas (*Lotus tenuis*, *Trifolium repens*, *T. fragiferum*, *T. pratense*, *T. balansa*), compuestas (*Tagetes sp.*, *Calendula officinalis*) y crucíferas (*Brassica sp.*). Particularmente en este caso, se buscó proveer de refugio y alimento a insectos benéficos para favorecer su reproducción, así como mejorar la estructura y la fertilidad del suelo (actividad biológica), favorecer la biodiversidad, aumentar la infiltración, reducir la compactación, controlar la erosión y permitir el ingreso anticipado de maquinaria al cultivo luego de una lluvia.

La cobertura verde interfilas se mantuvo en una hilera y fue segada en la contigua, alternando este



Fotos 2 y 3. Corredor biológico de plantas nativas y exóticas de bajo requerimiento hídrico que separa la parcela agroecológica demostrativa de un viñedo con manejo convencional.



Foto 4. Cultivo de alfalfa que separa la parcela agroecológica demostrativa de un sector inculto.

manejo para favorecer la floración y la resiembra de las especies anuales, además de conservar nichos para el establecimiento de insectos benéficos (Fotos 5 y 6).

Insectos benéficos

Tanto en los corredores biológicos, la cobertura verde, como así también en el viñedo, se ha observado una gran diversidad de insectos. A partir del mes de noviembre, en algunos años con mayor intensidad que otros, se registró la presencia de coccinélidos de distintas especies, como *Hippodamia variegata*, *Chrysolina graminis*, *Adalia bipunctata*, *Eriopis connexa*, entre otros, pasando el invierno bajo la corteza de las cepas y visitando los incipientes brotes. Asimismo, se encontraron numerosos pulgones parasitados con micro-himenópteros, principalmente en las especies leguminosas utilizadas como cobertura verde y en la alfalfa. También se ha observado actividad de diferentes especies de otros artrópodos como sírfidos, crisópidos y arácnidos.

La actividad de insectos benéficos se considera una señal importante para el manejo integrado

de plagas y enfermedades. Por ejemplo los coccinélidos, además de ser reconocidos predadores de áfidos, se ha comprobado que son importantes consumidores de hongos como el oidio (Sutherland & Parrella 2009). En un estudio realizado por Chorbadjian y Kogan (2005) en viñedos de Chile, se evidenció que aquellos que poseían cobertura vegetal presentaron mayor número de artrópodos totales (fitófagos, benéficos y otros) que las viñas sin cultivo de cobertura. Al calcular la proporción entre insectos benéficos/fitófagos, se encontró que la misma fue muy superior en viñedos con cobertura. Si en primera instancia se hiciera solo el relevamiento de algún insecto fitófago, se encontraría mayor presencia de la plaga en las parcelas que poseen cobertura verde, sin considerar que justamente allí es donde existe un mayor número relativo de insectos que pueden colaborar en el control natural de las plagas.

Hormigas

Durante el 2014, se colectaron hormigas de forma manual y mediante trampas de caída y se

clasificaron. Los formícidos colectados, pertenecían a cuatro subfamilias (*Formicinae*, *Myrmicinae*, *Dolichoderinae* y *Ponerinae*), ocho géneros y 17 especies (*Camponotus mus*, *C. punctulatus*, *Forelius chalybaeus*, *Acromyrmex striatus*, *Solenopsis spp.*, *Hippoconera opacior*, *Dorymyrmex wolffhugeli*, *Pheidole bergi*, *P. spininodis*, *P. aberrans*, *P. triconstricta*, entre otras).

Más del 90% de los formícidos colectados pertenecieron a dos subfamilias: *Myrmicinae* y *Dolichoderinae*. Las especies más abundantes fueron *Pheidole bergi* y *Dorymyrmex wolffhugeli* representando entre las dos más del 50% del total.

De acuerdo a la función que desempeñan en el agroecosistema, en general, predominaron aquellas pertenecientes a dos grupos funcionales: el de las mirmicinas generalistas (cosmopolitas, no muy activas ni agresivas, se mueven en masa para defender sus recursos) y el de las especialistas en climas fríos oportunistas (no especializadas, comunes en áreas disturbadas de baja diversidad). A continuación le siguieron, en orden de dominancia, las especialistas en climas fríos crípticas (de pequeño tamaño, se alimentan en el suelo), las especialistas en clima caliente (adaptadas a hábitats áridos, con especializaciones que les permite reducir las interacciones con especies dominantes), las camponotinis subor-

dinadas hacia especies dominantes y por último se encontraron las especialistas en clima tropical (presentes donde las especies dominantes no son abundantes).

Así mismo, debido a la abundancia de hormigas cortadoras de hojas (*Acromyrmex striatus*) en dicho viñedo se evaluó su actividad forrajera mediante el estudio de la composición de la dieta y sus preferencias de acuerdo a la oferta vegetal. Se observó que *A. striatus* prefiere el forrajeo de material verde (recién cortado) hacia los nidos y predomina la colecta de monocotiledóneas, aunque también acarrea dicotiledóneas. Por consiguiente, a pesar de representar un riesgo potencial para el cultivo de la vid, si éste presenta oferta de cobertura verde en sus interfilares, el daño provocado por esta hormiga cortadora no sería tan significativo, así como tampoco los costos asociados al control de las mismas. Por lo tanto, el uso de cultivos de cobertura podría ser un recurso para el manejo de *A. striatus* en el viñedo, siempre y cuando estas especies vegetales no compitan excesivamente con el cultivo.

Al evaluar comparativamente los índices de diversidad con los de una parcela bajo manejo convencional, la parcela con manejo agroecológico registró mayor abundancia de hormigas, aunque sin diferencias respecto de la riqueza (Dagatti 2016).



Fotos 5 y 6. Manejo de la cobertura vegetal polifítica: segado en interfilares alternos.

Calidad del suelo

La calidad ambiental, junto a la sustentabilidad económica y la viabilidad social, son fundamentales para lograr la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. El atributo ambiental está compuesto básicamente por la calidad del aire, agua, suelo y sus interrelaciones. En los dos primeros componentes (aire y agua) el agricultor tiene limitadas posibilidades de intervención, debido a que están más condicionados por contextos climáticos o escenarios ambientales. En cambio, se conocen diferentes estrategias de manejo que permiten modificar sensiblemente la calidad del suelo agrícola. Dicha calidad está determinada por factores químicos, físicos y biológicos, y es necesario tener presente la importancia de cada uno de ellos. Entre los factores químicos más significativos se pueden mencionar a los macronutrientes (N, P, K, S, Ca, Mg), los micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn, B, Cl, Mo, Ni), la acidez (pH) y la salinidad. Los factores físicos más determinantes están relacionados con la porosidad, la capacidad de almacenaje de agua, la densidad, la compactación, los agregados del suelo y la temperatura. Mientras que los factores biológicos que intervienen están representados por la diversidad microbiana (hongos, levaduras, bacterias, entre otros), la actividad de insectos del suelo, lombrices y la materia orgánica como base de sustento para la vida edáfica.

Por ello, el manejo del suelo se considera uno de los pilares para el manejo agroecológico de los viñedos, ya que interviene sobre diversos aspectos del agro-ecosistema.

Gestión del suelo mediante coberturas vegetales (cultivos de cobertura = cultivos de servicios)

Las coberturas vegetales consisten en sembrar especies herbáceas introducidas o dejar desarrollar vegetación espontánea de manera permanente o temporaria, sobre la totalidad o parte de la superficie. Son cultivos que no persiguen un valor co-

mercial sino que se utilizan con diversos objetivos generales como: incorporar materia orgánica y poner en disponibilidad nutrientes, aportar nitrógeno, mejorar la estructura del suelo, reducir compactación, aumentar la infiltración del agua, controlar la escorrentía y erosión, consumir el exceso de agua, favorecer la actividad biológica, controlar nemátodos, reducir la pérdida de nutrientes por lixiviación, controlar malezas, secuestrar carbono, entre otros. Algunos objetivos específicos para el manejo de viñedos son: anticipar el ingreso con maquinarias al viñedo en condiciones de elevada humedad en el suelo, controlar el vigor de las cepas, mejorar la calidad de la cosecha (uvas tintas), reducir el polvo en los racimos durante la cosecha mecanizada e inclusive aportar complejidad de aromas (uso de especies aromáticas). Además de estos objetivos específicos, los cultivos de cobertura, recientemente renombrados también como cultivos de servicios (García *et al.* 2018), contribuyen directa o indirectamente con importantes servicios ecosistémicos tales como la regulación de plagas y enfermedades, la atenuación de la temperatura, la mejora de la calidad del suelo, agua y aire.

Como se mencionó previamente, en la parcela demostrativa se realizó un manejo mediante cultivos de cobertura multiespecíficos, inicialmente establecidos a través de siembra manual al voleo de una mezcla de 12 diferentes especies (Uliarte *et al.* 2013a). Estas especies fueron seleccionándose naturalmente a través del tiempo, condicionadas por el manejo mediante cortes periódicos (cinco a seis al año) en general segando interfilas por medio, para favorecer la resiembra natural de algunas de las especies anuales. Luego de dos ciclos vegetativos del viñedo, se observaron problemas con la disminución del avance del agua de riego debido al efecto de la cobertura verde y a la acumulación de rastrojo de los segados. Para solucionar este inconveniente se realizó un surqueado de baja profundidad a ambos lados de la hilera de plantas de vid, utilizando dos discos de arado trabajando hacia el centro de la hilera. Esta labor facilitó el avance del agua mejorando la eficiencia del riego.

Al cabo de tres temporadas las especies predominantes fueron: *Trifolium pratense*, *T. repens*, *Lotus tenuis*, *Lolium perenne*, *L. multiflorum*, *Bromus catharticus*, asociadas a vegetación espontánea de *Setaria sp.* anual, *Plantago sp.*, *Cynodon dactylon*, entre otras. El resto de las especies establecidas inicialmente fueron desapareciendo paulatinamente.

Investigaciones locales previas de Uliarte y del Monte (2006) indicaron que el manejo con cultivos de cobertura perennes durante cinco años puede incrementar los contenidos de materia orgánica y nitrógeno en el suelo de viñedos, mientras que otros nutrientes importantes como el fósforo pueden tender a reducir su disponibilidad. Al evaluar la influencia en las plantas de vid se verificó la reducción en la longitud de brotes, no se modificó el número de hojas pero fueron de menor tamaño y por lo tanto se redujo la superficie foliar total. Se redujo el peso de poda y la producción de uva entre un 17 y 42% respecto del suelo descubierto y dependiendo del tipo de cobertura verde (*X Triticosecale* y *Trifolium pratense*, respectivamente) (Uliarte *et al.* 2006a). Los efectos en la estructura de la vegetación de las plantas de vid impactaron directamente en el ambiente del viñedo: en el microclima de la zona de racimos se detectó mayor insolación y mayor amplitud térmica, con temperaturas algo más bajas durante la noche y mayores en el día durante la época de maduración (Uliarte *et al.* 2006b). Las temperaturas máximas estivales del aire en el viñedo fueron atenuadas sensiblemente cuando el suelo se mantuvo con cultivos de cobertura, mientras que durante la primavera se verificó mayor susceptibilidad a las heladas en suelos con cobertura (datos no publicados). Se ha comprobado además que las especies poseen diferente grado potencial de competencia por agua y nutrientes (Uliarte *et al.* 2013b; Uliarte *et al.* 2014). También se observaron diferencias en la composición de la uva tinta, con aumento en los contenidos de compuestos fenólicos, antocianinas y mejora en el análisis sensorial de los vinos provenientes de viñedos con cobertura verde perenne (Uliarte *et al.* 2009a).

Aunque para la siembra de la parcela se escogieron especies no demasiado competitivas, se

trató de una cobertura permanente que ante años de escasez de agua y riegos deficientes, provocó excesiva competencia con el cultivo. Al inicio de la experiencia, en la temporada 2009/10 el rinde promedio de la parcela de cv. Cabernet sauvignon fue de 8.827 kg ha⁻¹, mientras que en la temporada 2012/13 bajó a 6.531 kg ha⁻¹. Si bien en la parcela se observa una incidencia creciente de la enfermedad de hoja de malvón (complejo de hongos de la madera) y aumento de fallas (plantas muertas o faltantes), problemas recurrentes en los viñedos de la región, se considera que esta disminución de la producción estuvo fundamentalmente determinada por la competencia del cultivo de cobertura.

Luego de tres temporadas de manejo con cobertura vegetal completa (todos los interfilares sembrados), en 2014 se decidió controlar el desarrollo de la cobertura interfilares por medio: manejando una entrehilera con la asociación de especies perennes alternado con interfilares con labranza mediante el uso periódico de rastra de cuatro cuerpos y doble efecto, buscando reducir la competencia entre la cobertura y la vid. En esta operación se aprovechó para retocar los niveles de la melga o batea y mejorar la eficiencia en el riego.

A partir de la temporada 2015/16 se resolvió trabajar directamente con cultivos de cobertura anuales invernales interfilares por medio (*X Triticosecale*, *Hordeum vulgare* y *Vicia sativa*) y en la temporada siguiente se estableció un ensayo experimental para evaluar alternativas con diferente grado de competencia. Estas siembras se realizaron mediante una sembradora de coberturas vegetales para viñedos desarrollada en INTA EEA Mendoza (Uliarte *et al.* 2009b). En la experimentación actualmente se estudian los siguientes tratamientos: i-cobertura anual invernal (*Avena sativa* o *Hordeum vulgare*, *Secale cereale* y *Vicia sativa*) interfilares por medio, alternado con interfilares labrados periódicamente (TM); ii-cobertura permanente (*Lolium perenne* y *Trifolium repens*) en la mitad de los interfilares y labranza el resto (PM); iii-cobertura anual invernal todos los interfilares (TT) y iv-interfilares alternados con cobertura perenne y cobertura anual invernal (PT) (Fotos

7 a 10). Resultados preliminares no mostraron diferencias en la producción luego del primer año de establecidos los tratamientos, mientras que a partir de la segunda temporada se detectaron los efectos del manejo del suelo ya que el tratamiento TM se diferenció significativamente de TT y PT (entre 5,5 y 5,8 t ha⁻¹), por una mayor producción de algo más de 8,0 t por hectárea, lo cual se estima próximo al potencial productivo de la variedad para obtener vinos de cierta calidad para este terruño. El tratamiento PM presentó una producción intermedia cercana a las 7,0 t por hectárea, sin diferenciarse estadística-

mente del resto de los cultivos cobertura (**Tabla 1**).

Los interfilares con cobertura anual invernal se manejan mediante rolado primaveral a través de un rodillo de coberturas verdes (**Foto 11**), aplicado en la época de floración de las especies, y posteriormente mediante cortes periódicos con segadora, al igual que con la cobertura permanente. La superficie del interfilar efectivamente sembrada es del 60% y en la línea de plantas se desmaleza mediante un prototipo de labranza intercepa de bajo costo y sencillo funcionamiento mecánico actualmente en fase de desarrollo (**Foto 12**).



Fotos 7 a 10. Experimentación con cultivos cobertura de distinto grado de competencia con plantas de vid cv. Cabernet sauvignon, INTA EEA Mendoza. (7) Cobertura temporaria la mitad de los interfilares: TM; (8) cobertura permanente la mitad de los interfilares: PM; (9) cobertura temporaria todos los interfilares: TT; (10) cobertura temporaria y permanente alternada: PT. La cobertura anual se observa recién rolada y la permanente segada.

Manejo de la fertilidad

Compostaje

La incorporación de compost al suelo mejora su fertilidad física, química y biológica, incorpora materia orgánica, favorece la estructura del suelo, aumenta retención de agua, estimula actividad biológica y mejora la disponibilidad gradual de nutrientes. Por lo tanto, el compostaje fue una práctica que se implementó desde el inicio de la parcela orgánica demostrativa.

Los materiales iniciales utilizados fueron diversos y cambiaron año a año según su disponibilidad. Se han usado: orujo fresco y agotado, hojas secas y segado de parques, estiércoles (de vaca, caballo, gallina, cabra, cama pollo parrillero), cortes alfalfa, chala de ajo (restos de galpones de empaque de ajo) y aserrín. Las técnicas fueron cambiando a través de los años hasta ajustar la metodología de elaboración.

En la primera experiencia en el año 2010 se realizaron pilas estáticas y en el 2011 las pilas

fueron aireadas de manera pasiva mediante tubos plásticos perforados, en ambos casos el tiempo de compostaje fue muy lento, necesitando cerca de 12 meses para obtener un material mayormente estabilizado pero muy heterogéneo: se encontraron zonas con problemas de anoxia por exceso de humedad, mientras que otros sectores presentaron escasa humedad e insuficiente degradación del material inicial. Posteriormente, en los años 2012 y 2013 se efectuaron volteos semi-mecanizados de las pilas mediante un cajón guanero con sistema de descarga, lo cual redujo los tiempos de compostaje a cerca de cuatro meses y mejoró la homogeneidad. En todas las elaboraciones citadas el sistema de riego fue por micro-aspersores ubicados por encima de las pilas. Este sistema fue poco eficiente ya que presentó excesivo escurrimiento superficial y alta evaporación de agua.

En el año 2012 se comparó el uso de los preparados biodinámicos e inoculante comercial EM® (microorganismos eficientes) durante el compostaje. La incorporación de ambos tipos de productos no tuvo efecto en el proceso de compostaje, las poblaciones microbianas, ni en la composición final del compost obtenido cuando se comparó con un testigo sin inocular (Martinez *et al.* 2013).

A partir del año 2014 las pilas de compostaje se manejaron con volteos mecanizados y riego por cinta de goteo. Para el volteo y aireación mecanizada de las pilas de compostaje ese mismo año se experimentó con una volteadora del tipo comercial (desarrollada en INTA EEA Ascasubi) (**Foto 13**) y un implemento tipo reja (desarrollada en INTA EEA Mendoza) (**Foto 14**). Con ambos equipos se logró obtener un compost estable y maduro, similar composición final, en un lapso de tiempo análogo de alrededor de cuatro meses. La máquina volteadora posee una capacidad de trabajo cuatro veces superior a la reja, aunque requiere mayor demanda de potencia de tracción (75 vs 45 hp), mayor inversión inicial, regulaciones previas y mantenimiento periódico. La máquina volteadora es más eficiente para compostajes de mediana a gran escala, mientras que la reja se adaptaría

Cultivo de cobertura	Producción de uva (t ha ⁻¹)	
	Temporada 2016/17	Temporada 2017/18
TM	5,36 a	8,34 a
PM	5,07 a	7,15 ab
TT	5,47 a	5,53 b
PT	5,09 a	5,81 b

Tabla 1. Efecto de cultivos de cobertura con diferente nivel de competencia en la producción de uva cv. Cabernet sauvignon, INTA EEA Mendoza. Resultados preliminares. Referencias de tratamientos según Fotos 7 a 10. Letras distintas para cada temporada indican diferencias significativas entre las medias ($p \leq 0,05$; $n=4$).

mejor para elaboraciones de menor escala (Uliarte *et al.* 2015).

Al comparar los sucesivos compostajes en el transcurso de las diferentes temporadas, de manera general se puede observar que los volteos mecánicos y los riegos con cintas perforadas mejoraron la estabilidad final de los compost, obteniendo menores valores de relación C:N, menor salinidad, mayores contenidos de macronutrientes (N, P, K) y materia orgánica, en menor tiempo de compostaje.

A partir de las experiencias adquiridas sobre

compostaje, en 2016 una importante destilería de alcohol vínico de la región (Derivados Vínicos S.A.) se interesó por tratar los residuos de sus procesos. La alcoholera procesa por temporada más de 150.000 toneladas de orujos de uva y borras provenientes de bodegas de la región, generando grandes volúmenes de residuos orgánicos. Éstos eran tradicionalmente mezclados en distintas proporciones y acopiados por un período de tiempo hasta su devolución a las bodegas. Este material aún no estabilizado y utilizado como enmienda agrícola



Fotos 11 y 12. (11) Rodillo para volteo (o rolado) de cultivos de cobertura anuales y (12) prototipo de bajo costo para el desmalezado intercepa (mecánico) de la línea de plantas de vid.



Fotos 13 y 14. (13) Volteadora de compost (prototipo desarrollado en INTA EEA Ascasubi) y (14) reja removedora de compost (prototipo desarrollados en INTA EEA Mendoza).

podía generar efectos no deseados en los viñedos. El trabajo conjunto a partir de la vinculación entre INTA EEA Mendoza y la empresa alcoholera, permitió la caracterización de los residuos (borras, orujos frescos y agotados) y ajustando el proceso de elaboración se comprobó la aptitud para su estabilización mediante compostaje a gran escala (Uliarte *et al.* 2017).

En 2017 se evaluó el proceso de compostaje de orujo solo o combinado con estiércol de cabra, hojas y cortes de alfalfa, y bajo dos alternativas de manejo: pilas destapadas y pilas tapadas con nylon transparente. El compost mixto presentó contenidos nutricionales altos, mientras que la cobertura plástica desfavoreció el desarrollo de microorganismos, especialmente de amonificadores, celulolíticos y nitrificadores. Este hecho puede estar relacionado a la reducción del intercambio gaseoso (Funes Pinter comunicación personal).

Elaboración de té de compost

El té de compost, también nombrado como extracto de compost (EC), té aireado de compost, té orgánico o compost líquido, es un preparado en base a compost fermentado en agua que posee nutrientes y microorganismos. No se trata de una infusión, ya que se utiliza agua a temperatura ambiente, no es el lixiviado del riego de las pilas de compostaje y no es un extracto o solución líquida de estiércol. Se utiliza como fertilizante líquido, ya que aporta nutrientes solubles, en aplicaciones foliares o incorporado al suelo (pulverizado o mediante el riego). Pero al revisar los antecedentes se encuentra que es más importante su uso como supresor de enfermedades de las plantas, ya que genera resistencia inducida, antibiosis y competencia, cuando se realizan aplicaciones preventivas. En viñedos de Australia se ha verificado su efectividad para prevenir dos de las enfermedades más problemáticas de la vid: podredumbre de racimos y oidio (Evans *et al.* 2013).

Existen distintas metodologías de elaboración del té: con diferentes relaciones compost:agua, no aireados y aireados por diferentes lapsos de tiempo.

En una primera experiencia local realizada en 2014, se caracterizaron los EC obtenidos con distinto grado de aireación y se evaluó su influencia sobre el crecimiento de plantas jóvenes de vid. En los extractos más aireados se observó un aumento en la actividad de bacterias aerobias mesófilas y una leve tendencia de incremento de hongos en general. No se detectó contaminación con patógenos de riesgo como *Salmonella sp.*, y la concentración de *Escherichia coli* encontrada en una sola muestra estuvo por debajo del límite máximo permitido para el agua de riego. En cuanto a su composición química, en general los EC presentaron mayores contenidos de N-NO_3^- que de N-NH_4^+ . La aplicación del té de compost en las plantas de vid indujo mayor crecimiento secundario (brotación de yemas laterales) y tendencia a menor longitud del brote principal (Uliarte *et al.* 2016).

Actualmente se encuentran en marcha estudios para profundizar la caracterización química y microbiológica del té de compost elaborado a partir de distintos compost, mediante diferentes metodologías. También se estudia su efecto sobre distintos cultivos (anuales y perennes), su aporte nutricional y su potencial como supresor de enfermedades.

En la parcela demostrativa, el té de compost se elabora en tambores de 220 litros con una relación en volumen compost:agua entre 1:4 y 1:6, el aireado se realiza mediante dos aireadores tipo pecera y difusores ubicados al fondo del recipiente, por un período de 24 horas (**Fotos 15 a 17**). Se efectúan entre tres y cuatro aplicaciones foliares a la vid entre primavera y verano.

En un ensayo comparativo a campo iniciado en el año 2016, se evalúan los efectos de la incorporación de compost al suelo y la aplicación combinada de compost sumadas a aplicaciones foliares periódicas de extracto de compost, contrastadas con un tratamiento testigo sin enmiendas. Luego de dos temporadas, los resultados preliminares mostraron tendencias ligeramente significativas al aumento de la producción de uva, del 14 al 16% respecto del testigo, para los tratamientos con aplicación periódica de compost y el combinado con EC, sin diferenciarse entre otro tipo de enmiendas (**Tabla 2**).

Elaboración de bioles

La mejora en la fertilidad del suelo generada por los cultivos de cobertura no es totalmente aprovechada por las cepas de vid, debido a la competencia de las raíces de ambos cultivos por espacio, agua y nutrientes. Las aplicaciones de compost al suelo se caracterizan por una liberación gradual de los nutrientes y el aporte localizado de nutrimentos a

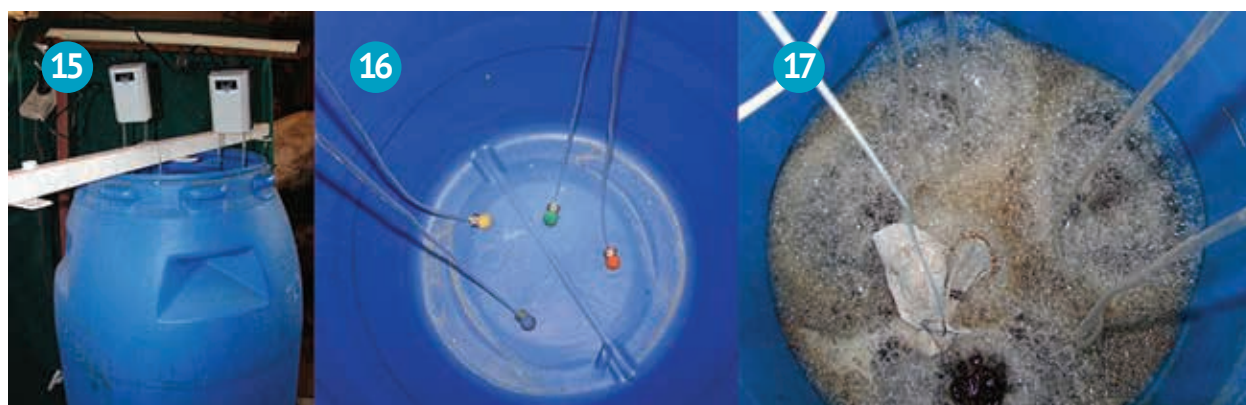
Enmienda	Producción de uva (t ha ⁻¹)	
	Temporada 2016/17	Temporada 2017/18
TE	7,47 a	8,54 b
CO	8,23 a	9,98 a
CO+EC	6,95 a	9,74 a

Tabla 2. Efecto de la aplicación de compost y té de compost en la producción de uva cv. Cabernet sauvignon, INTA EEA Mendoza. Resultados preliminares. Referencias: TE, testigo sin enmienda; CO, compost; CE, extracto de compost. Letras distintas para cada temporada indican diferencias significativas entre las medias ($p \leq 0,10$; $n=4$).

partir de las pulverizaciones foliares del té de compost puede no ser tan significativo. Debido a ello se decidió, a partir de la primavera de 2015, complementar el plan de fertilización del viñedo a través de biofertilizantes líquidos (bioles) incorporados al suelo. Con ello se busca una aplicación localizada próxima a la zona de raíces y disponibilidad nutricional más rápida para las plantas.

Los bioles pueden ser elaborados por el mismo productor de manera sencilla y se producen en base a una fermentación anaeróbica de residuos orgánicos, principalmente estiércoles y restos vegetales. Existen diversas recetas y los materiales iniciales pueden ser variables. En general, en la parcela demostrativa se han utilizado para su elaboración mayormente los siguientes componentes: alfalfa fresca picada, estiércol de conejo fresco, bentonita, cáscara de huevo finamente molida, ceniza de madera, ceniza de hueso y agua. Estos materiales se disponen en un tanque o tambor plástico con agua, tapado herméticamente y con una trampa de gases durante un período de 3 a 6 meses.

El producto se puede aplicar diluido, sobre la vegetación o al suelo. Además de su aporte nutricional, puede contribuir con el aumento de la resistencia a enfermedades y mejorar las defensas ante un ataque de plagas. Además aumenta la actividad biológica del suelo y puede ser estimulante de la floración y producción de frutos (IPES / FAO 2010).



Fotos 15 a 17. Elaboración de té aireado de compost mediante aireadores tipo pecera.

En la parcela demostrativa se realiza una aplicación primaveral de biol en cada ciclo vegetativo de la vid, con el producto diluido al 11% en dosis de alrededor de 30 l ha⁻¹. La aplicación se efectúa mediante máquina con pastillas de alto volumen orientadas al suelo, hacia ambos lados de la hilera de plantas.

Evolución de la fertilidad del suelo

En la **Tabla 3** se detalla la evolución de los parámetros de la fertilidad de suelo (de 0 a 30 cm) con los resultados de los análisis realizados al inicio (2009) y durante el manejo agroecológico (2012, 2014 y 2018). Allí se observa cómo la materia orgánica (MO) del suelo fue aumentando luego del cambio de manejo convencional a agroecológico. En el último año se aprecia una disminución importante en el porcentaje de MO del suelo, hecho que puede estar relacionado a los cambios en el manejo del suelo. De mantener una cobertura permanente en todos los interfilares, se pasó a una labranza interfilare por medio en el año 2014 y luego a una cobertura temporal invernada con rastreado hilera por medio, a partir del año 2015. Es importante destacar que las muestras de suelo fueron compuestas, tomadas de interfilares con y sin cobertura del suelo para estos últimos años.

La concentración de fósforo (P) siguió una tendencia similar a la MO, alcanzando niveles muy altos en 2014 y pasando a tenores bajos en 2018, esta situación puede estar vinculada a los cambios de manejo expresados en los párrafos anteriores. Las resiembras de coberturas vegetales con especies anuales establecen una mayor cantidad de sistemas radicales en estado inicial de desarrollo y esto puede determinar un mayor requerimiento de P (Römer & Schilling 1986). La concentración de nitrógeno (N total) fue oscilando entre valores altos y muy altos, en general con tendencia a incremento respecto del valor inicial, mientras que la concentración de potasio (K) fue aumentando hasta alcanzar niveles altos.

La conductividad eléctrica (CE) se mantuvo dentro de valores que clasifican al suelo como no salino, aunque en el último año se registró un leve aumento despreciable.

Estos resultados confirman que los cambios en las prácticas de manejo modifican sensiblemente parámetros importantes que determinan la fertilidad de suelo.

Abundancia de microorganismos relacionados con la fertilidad edáfica y la nutrición de la vid

Una primera evaluación de los microorganismos

Parámetros	INICIAL		MANEJO AGROECOLÓGICO					
	2009		2012		2014		2018	
MO (%)	1,28	mediana-mente pobre	1,39	mediana-mente pobre	1,69	mediana-mente pobre	0,79	pobre
N total (mg kg ⁻¹)	837	alto	1278	muy alto	940	alto	1181	muy alto
P (mg kg ⁻¹)	2,11	muy bajo	5,32	alto	7,29	muy alto	2,9	bajo
K (mg kg ⁻¹)	143	pobre	174	bueno	174	bueno	220	alto
CE (dS m ⁻¹)	0,98	no salino	1,02	no salino	1,01	no salino	1,27	no salino

Tabla 3. Resultado de análisis de suelo (muestras de 0 a 30 cm) inicial (año 2009) y durante el manejo agroecológico (años 2012, 2014 y 2018).



Fotos 18 y 19. Elaboración de biol para su uso en la parcela agroecológica demostrativa de vid.
Foto izquierda: mezcla inicial de los materiales. Foto derecha: biol terminado y filtrado previo a su dilución y uso.

presentes en el suelo y raíces de las plantas de vid reveló la presencia natural de hongos formadores de micorrizas en la parcela demostrativa con manejo agroecológico. En un relevamiento realizado en el año 2016 en el ensayo donde se llevaban a cabo los siguientes tratamientos: i-aplicación de compost al suelo, ii- aplicación de compost al suelo y té de compost a la vegetación de las vides, y iii-testigo sin aplicación, el porcentaje de micorrización fue de 92, 90 y 80%, respectivamente. Los tratamientos no mostraron diferencias significativas en la infección micorrízica de plantas de vid. Las estructuras micorrízicas observadas fueron hifas principalmente y vesículas en menor cantidad, aunque no se encontraron arbusculos.

Con respecto a otros microorganismos presentes en el suelo, tampoco se observó diferencias significativas entre tratamientos. La población de las bacterias aerobias mesófilas fue mayor que los hongos, con abundancias medias de $1,48 \times 10^7$ y $8,31 \times 10^4$ unidades formadoras de colonia (UFC) por gramo de suelo seco, respectivamente. Entre los microorganismos mineralizadores del nitrógeno orgánico del suelo, la abundancia de los amonificadores fue

cercana a $2,14 \times 10^5$ número más probable (NMP) g^{-1} suelo, la de los nitrificadores $2,90 \times 10^3$ NMP g^{-1} suelo y finalmente, la de los microorganismos fijadores de nitrógeno $1,15 \times 10^7$ UFC g^{-1} suelo.

Manejo integral de malezas, enfermedades y plagas

Malezas

La vid, al ser una especie trepadora perenne, requiere de sistemas de conducción que le permitan expresar todo el potencial de su vegetación. Estos sistemas están constituidos por postes y alambres que junto a los propios troncos de las cepas constituyen un obstáculo para el control mecánico de las malezas. Tradicionalmente, en el sitio interfilas, las malezas se han controlado mediante araduras periódicas, mientras que en la línea de plantas se ha utilizado el “desorillado” mediante reja y vertedera de operación manual, tarea pesada y con alta necesidad de mano de obra. Los herbicidas de síntesis simplificaron el control de las malezas y tuvieron

una amplia difusión en estos sistemas, mayormente a través del uso de glifosato.

Como se especificó previamente, en la zona del interfilas de los viñedos bajo manejo agroecológico se proponen cultivos de cobertura o control de malezas en parte de la superficie o en una determinada época del año, sin embargo se presenta como un desafío el tener que reemplazar la aplicación de herbicidas en las hileras del cultivo, al pie de las plantas.

Existen equipos de labranza automática denominados intercepa que permiten sortear troncos y postes mediante la combinación de sensores y electroválvulas que dirigen el ingreso y la salida de elementos de labranza. Se trata de equipamientos de elevado costo, generalmente con componentes importados y alto requerimiento de mantenimiento, con repuestos difíciles de reponer en el mercado local, en caso de avería. En muchas situaciones es necesario realizar además un repaso manual en la zona próxima a las estructuras fijas.

En experiencias locales previas se han estudiado diferentes alternativas para el manejo de malezas sin utilizar herbicidas de síntesis. En un ensayo efectuado fuera de la parcela demostrativa se compararon alternativas de control térmico por flameado de gas licuado de petróleo (GLP) mediante un prototipo desarrollado en INTA EEA Mendoza, control mecánico con una desbrotadora de eje horizontal regulada para control de malezas, utilización de mulching vegetal seco con rastrojo de ajo (capa de 15 cm de espesor) aplicado de manera manual y un herbicida a base de; ácido acético, ácido cítrico, aceite mineral y extracto de ajo (Uliarte *et al.* 2013a). De manera general, se pudo concluir que el mulching y el control térmico alcanzaron elevados niveles de control de las malezas (98 y 84%), mientras que para el control mecánico y el herbicida alternativo resultaron relativamente modestos (66 y 57%). Todas las tecnologías estudiadas fueron más efectivas con malezas en estado inicial del desarrollo, presentando algunas particularidades:

a) El mulching fue altamente efectivo a principios de la temporada, posteriormente el ma-

terial se degrada y vuelven a establecerse las malezas. Si bien se aplica una sola vez en la temporada, debería repetirse anualmente su aplicación. Resulta costoso el traslado de grandes volúmenes de material y su aplicación a campo.

b) El prototipo de flameado requirió de personal especializado para su operación, siendo un equipo complejo, de elevado costo y cierto riesgo de operación. Realiza un efecto desecante foliar pero las malezas establecidas rebrotan al transcurrir un tiempo, siendo más efectivo para controlar dicotiledóneas. Es necesario efectuar aplicaciones frecuentes.

c) La desbrotadora generó una enorme cantidad de polvo en suspensión y destruyó los bordos contenedores del agua en las melgas usada para el riego. Existen equipos importados y algunos de fabricación local, ambos de elevado costo relativo. Sin embargo, es el tratamiento de menor costo operativo.

d) El herbicida alternativo presentó cierto efecto selectivo para controlar dicotiledóneas. El efecto desecante es de corta duración por lo que se necesitaría acortar los tiempos entre tratamientos, incrementando el uso de insumos y elevando el costo del desmalezado.

En la parcela demostrativa, los primeros tres años se utilizó el prototipo de flameado para el desmalezado de la línea de plantación. Para lograr un control adecuado fue necesario realizar tratamientos frecuentes y repastos manuales o mediante bordeadora, con alto gasto de GLP, sumadas a las consideraciones anteriormente descriptas. Por ello, se decidió cambiar de estrategia hacia algún sistema de labranza de bajo costo. En este período de transición se utilizó desorillado tradicional y un equipo intercepa automático disponible en el mercado. Paralelamente se iniciaron los trabajos para desarrollar el prototipo intercepa con el que se controlan las malezas en la actualidad. El equipo se encuentra en fase de desarrollo, pruebas y mejoras, posee dos discos cóncavos dentados dispuestos con cierta inclinación de ataque a la superficie del

suelo, complementado en la parte trasera con una rueda sensora que produce el desplazamiento al interfilas de un disco plano horizontal (**Foto 12**). El equipo es relativamente efectivo para controlar las malezas en la línea de plantación, requiere escaso mantenimiento y es de bajo costo relativo. Eventualmente es necesario realizar un leve repaso manual del desmalezado.

Enfermedades y plagas

Los principales problemas para la protección sanitaria de la vid en la parcela están relacionados con enfermedades fúngicas, mayormente oidio de la vid (*Uncinula necator*), peronospora de la vid (*Plasmopara viticola*) y podredumbre de los racimos (*Botrytis cinerea*). Principalmente para oidio y peronospora, todos los años es necesario realizar aplicaciones fitosanitarias preventivas, con una frecuencia de aplicación que depende en gran medida de las condiciones climáticas de la temporada.

Con relación a las plagas, existe en general una baja incidencia, siendo actualmente el principal problema la amenaza de la polilla de la vid (*Lobesia botrana*), declarada plaga cuarentenaria en viñedos de Argentina.

La incorporación de estrategias de gestión del viñedo para mejorar la biodiversidad mediante el establecimiento de corredores biológicos y cultivos de cobertura, como así también la búsqueda de la mejora de la fertilidad integral del suelo y de las plantas de vid, mediante la incorporación de compost, té de compost y bioles, buscan favorecer un agroecosistema más equilibrado, que albergue diversos artrópodos benéficos, útiles para el control de plagas. Aunque no se han llevado a cabo relevamientos específicos y como se indicó previamente, en la parcela demostrativa se ha observado una importante actividad de artrópodos valiosos para el control de plagas y enfermedades (coccinélidos, microhimenópteros, sírfidos, arácnidos, entre otros).

En experiencias en viñedos de la zona, se ha verificado una disminución en la incidencia de las principales enfermedades fúngicas cuando el viñe-

do posee cultivos de cobertura (datos no publicados), en concordancia con estudios realizados en otros viñedos del mundo (Corino *et al.* 2003). Este efecto se vincula a la mejora en el microclima en la zona de racimos, ya que se presenta vegetación menos densa, con mayor aireación e incidencia de radiación solar, lo cual determina condiciones desfavorables para el ataque de hongos.

Elevadas actividades biológicas, tanto en el suelo como en el follaje, son buscadas para asistir en la supresión de enfermedades mediante resistencia inducida, antibiosis y competencia con patógenos. La correcta nutrición de la vid ayudará además para que el cultivo pueda defenderse mejor ante la irrupción de enfermedades o plagas emergentes.

Al inicio de la transición de manejo se diseñó un programa de tratamientos preventivos de enfermedades fúngicas en base a aplicaciones de azufre (espolvoreo y mojable), productos cúpricos (oxicloruro e hidróxido de cobre), extracto líquido de cítricos y control biológico de la polilla mediante *Bacillus thuringiensis*. Sin embargo se sabe que el azufre puede afectar enemigos naturales, el cobre es un metal pesado y está restringido para cultivos orgánicos, mientras que en general los insumos alternativos ofrecidos para cultivos ecológicos son comparativamente más costosos. Por ello se buscaron opciones para reemplazarlos y alcanzar un programa fitosanitario más eficiente.

A partir de la temporada 2015/16 se efectuó un primer y único tratamiento primaveral con azufre y cobre, y posteriormente se realizan aplicaciones de bicarbonato de sodio, bentonita y té de compost como preventivos fúngicos. Desde la temporada 2016/17 se utilizó la técnica de confusión sexual mediante la colocación de difusores de feromonas sintetizadas para control de la polilla del racimo. Este último tratamiento es exigido por la autoridad fitosanitaria nacional.

Resulta importante destacar que en el transcurso de las nueve temporadas de cultivo no se presentaron incidencias fitosanitarias de importancia, tanto plagas como enfermedades fueron controladas satisfactoriamente.

En los primeros años de transición se observaron algunos ataques puntuales de hormigas cortadoras, pero estos daños fueron disminuyendo con el transcurso del tiempo hasta mantenerse en baja incidencia, sin necesidad de efectuar controles específicos. Una temporada en particular (año 2013/14) se presentó con mayor predisposición para el ataque de oidio, no obstante ello el viñedo agroecológico no fue mayormente afectado, a diferencia del resto de la viña con manejo convencional que presentó severa disminución de la producción, aparentemente por problemas de efectividad en las aplicaciones fitosanitarias.

Comparación de costos de manejo

Se realizó un análisis comparativo de costos operativos entre el cultivo de vid bajo manejo agroecológico (AE), ejecutado en la parcela demostrativa, y el manejo convencional (CO) realizado en el resto de las parcelas de INTA EEA Mendoza, para la temporada 2017/18.

Se tuvieron en cuenta gastos de combustible, mano de obra y otros insumos necesarios para las tareas anuales por unidad de superficie (hectárea) (Tabla 4).

El manejo de la parcela demostrativa AE significó sólo un 5,8% más costoso que el manejo CO del

Actividades ¹	MANEJO AGROECOLOGICO				MANEJO CONVENCIONAL			
	Gasoil	Otros insumos	Mano de obra	Total	Gasoil	Otros insumos	Mano de obra	Total
Fertilización ²	\$ 51	\$ 301	\$ 37	\$ 390	\$ 14	\$ 266	\$ 8	\$ 289
Tratamientos fitosanitarios ³	\$ 73	\$ 191	\$ 49	\$ 314	\$ 42	\$ 357	\$ 24	\$ 423
Control de malezas ⁴	\$ 48	-	\$ 86	\$ 134	\$ 61	\$ 49	\$ 35	\$ 145
Cobertura vegetal ⁵	\$ 47	\$ 55	\$ 27	\$ 128	-	-	-	-
Manejo del viñedo ⁶	-	-	\$ 1.153	\$ 1.153	-	-	\$ 1.146	\$ 1.146
TOTAL	\$ 219	\$ 548	\$ 1.352	\$ 2.119	\$ 117	\$ 672	\$ 1.214	\$ 2.002

Tabla 4. Comparación de costos en dólares, de combustible, insumos y mano de obra por hectárea y por año, para dos tipos de manejos del cultivo: agroecológico y convencional. Luján de Cuyo, Mendoza (cotización al 18 de Junio 2018: \$USD 1 = \$ARS 28,5).

1 Se considera que el cultivo agroecológico produce 7.000 kg ha-1 y el convencional 8.000 kg ha-1.

2 El manejo agroecológico incluye compra de compost y elaboración de biol. El manejo convencional incluye aplicación de urea y 18.46.00 en la misma proporción de nitrógeno que la aportada por el compost.

3 Otros insumos incluyen: difusores para confusión sexual de *Lobesia botrana*, azufre micronizado, oxiclورو de cobre, bentonita, bicarbonato y té de compost en el manejo agroecológico. Clorantraniliprole + abamectina, ametoctradin + dimetomorf, boscalid + pyraclostrobin, azufre micronizado, y oxiclورو de cobre en el manejo convencional.

4 El manejo agroecológico incluye cuatro pasadas con desorilladora mecánica (prototipo INTA EEA Mendoza) y un repaso manual con azadón por año. El manejo convencional incluye el uso de herbicida sistémico glifosato al 62,5% (2 l ha-1) aplicado cuatro veces en la línea de plantas y tres rastreadas en todos los interfilares por ciclo de cultivo (que incluye la formación de surcos).

5 En el cultivo agroecológico se incluye la siembra de la cobertura vegetal anual invernal en todas las hileras; rolado (hilera por medio) una vez al año; rastreado (hilera por medio), segado de la cobertura (hilera por medio) y surqueado (todas las hileras) dos veces al año. En el convencional no se considera el uso de cobertura vegetal, sino que se manejaría con suelo descubierto.

6 Incluye poda, desbrote, cruzado de brotes, despampanado, preparación manual del riego (limpieza de cupos), riego y cosecha para ambos tratamientos.

viñedo vecino. Los costos de mano de obra fueron 11% mayores en el manejo AE; este valor es relativamente bajo debido a que se considera la aplicación mecánica del compost y el control mecánico de malezas, tareas que si se hicieran de manera manual consumirían mayor cantidad de jornales. El control de malezas en la parcela AE fue 7% menor que el control químico con un herbicida sistémico en la línea de plantas sumado al rastreado de los interfilares utilizado en el cultivo CO. El costo de los insumos necesarios para los tratamientos fitosanitarios y control de malezas (sin incluir el gasoil) fue 18% superior en el manejo CO, lo que significa USD\$ 124 más por hectárea que el cultivo AE. Por otra parte, el costo de combustible (gasoil) fue de USD\$ 102 por hectárea superior en la alternativa AE, mayormente relacionado con las tareas de manejo de coberturas verdes, tratamientos fitosanitarios (ya que el té de compost se aplica separado de la aplicación del resto de los productos: bentonita y bicarbonato) y fertilización.

Realizando las actividades mencionadas para cada tipo de manejo, y considerando un ingreso idéntico para ambas situaciones de USD\$ 0,727 por kilo de uva vendida, la ganancia bruta en el cultivo CO produciendo 8 tn ha⁻¹ sería de USD\$ 5.816, mientras que para el sistema AE produciendo 7 tn ha⁻¹ sería de USD\$ 5.089. Teniendo en cuenta los costos antes mencionados, la ganancia neta sería de USD\$ 3.814 y USD\$ 2.970 por hectárea, respectivamente.

Sin embargo, con la producción agroecológica se espera obtener uvas diferenciadas que sean reconocidas en su precio de comercialización o bien que sean utilizadas para elaborar vinos de calidad e inocuidad con alto valor agregado (productos agroecológicos). Si esta diferenciación fuera del 17% equipararía a la ganancia del sistema CO. Asimismo, como se evidenció en el ensayo de cultivos de cobertura (Tabla 1), con un manejo del suelo de mínima competencia (coberturas anuales hilera por medio) a partir del segundo año se alcanzan rendimientos similares a los del manejo convencional.

Conclusiones

La parcela demostrativa permitió experimentar diversas alternativas de manejo bajo condiciones similares a las que se presentan en una propiedad vitícola de la escala más representativa de los viñedos del país (1 a 5 ha). Se probó maquinaria existente y nuevos equipos agrícolas, desarrollando y adaptando a las condiciones de Mendoza, diferentes tecnologías para facilitar el manejo de viñedos agroecológicos.

El viñedo bajo manejo agroecológico fue visitado periódicamente por productores, estudiantes universitarios, profesionales e investigadores interesados en la búsqueda de prácticas alternativas de manejo.

La transición de manejo convencional del viñedo hacia un sistema de gestión con enfoque agroecológico mediante el establecimiento de corredores biológicos, manejo de cultivos de cobertura y utilización de enmiendas biológicas permitió aumentar la biodiversidad, favorecer el equilibrio ecológico y mejorar la fertilidad del suelo, logrando con el tiempo niveles productivos próximos a los del manejo habitual a través de un esquema de aplicación de agroquímicos, labranzas y fertilizaciones con productos de síntesis.

Resulta imprescindible efectuar el seguimiento de la evolución de los parámetros de fertilidad del suelo ya que su dinámica temporal es modificada por cambios en las prácticas de manejo.

Las prácticas propuestas confieren diversos servicios ecosistémicos como el mantenimiento y mejora de la calidad del suelo y agua, reducción del riesgo de erosión hídrica y eólica, atenuación de la temperatura, secuestro de dióxido de carbono atmosférico y preservación de insectos benéficos para el manejo integrado de plagas y enfermedades. También influye en el balance hídrico de los viñedos, el micro y meso-clima, el rendimiento, la calidad de las cosechas y los vinos, entre otros factores.

Los tratamientos fitosanitarios con insumos alternativos de bajo impacto y el manejo cultural de las malezas permitieron mantener satisfactoria-

mente las condiciones sanitarias del cultivo luego de nueve temporadas agrícolas. los costos operativos de manejo de la parcela (en la temporada 2017/18) se aproximaron a los de un cultivo contiguo bajo manejo convencional.

Las estrategias de manejo planteadas pueden aumentar la resiliencia de los agroecosistemas vitícolas de zonas especialmente frágiles, promover la conservación de los recursos naturales, el equilibrio ecológico y la mitigación del cambio climático, reduciendo las necesidades de agroquímicos y con mayor armonía en zonas de transición urbano-rurales.

Agradecimientos

Reconocimiento especial para Pedro Díaz y Ariel Porro por su valiosa asistencia. La parcela demostrativa fue financiada por INTA a través de su Red de Agroecología (REDAE), el Proyecto Regional con Enfoque Territorial del Oasis Norte de Mendoza y la Asociación Cooperadora de la EEA Mendoza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balsari P., Marucco P. 2009. Making the most efficient use of pesticide applications in vineyards e experiences from Europe. En: Crop Protection in Vineyards Plumpton College. Brighton, UK: The Association of Applied Biologists.
- Catania C.D., Avagnina S., Uliarte E.M., Del Monte R.F., Tonietto J. 2012. El clima vitícola de las regiones productoras de uvas para vinos de Argentina. En: Tonietto J., Sotés Ruiz V., Gómez-Miguel V.D., Editores. Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas iberoamericanas. Madrid: CYTED p 49-95.
- Chorbadjian R., Kogan M. 2001. Cubiertas vegetales en viñas - Relación con artrópodos benéficos y plagas. Revista Agronomía y Forestal Universidad Católica de Chile N°11 (4) p.4-6.
- Corino L., Lavezzi A., Sansone L., Storchi P., Antonacci D., Coletta A. 2003. L'entretien des sols viticoles: l'enherbement. Progrès Agricole et Viticole 120:134-138.
- Dagatti C.V. 2016. Diversidad de hormigas (*Hymenoptera: Formicidae*) en el cultivo de la vid con manejo orgánico y tradicional en Mendoza. Boletín de la Sociedad Entomológica Argentina N° 27 (1) p. 21-23
- Evans K.J., Palmer A.K., Metcalf D.A. 2013. Effect of aerated compost tea on grapevine powdery mildew, botrytis bunch rot and microbial abundance on leaves. European Journal of Plant Pathology 135: 661-673.
- FAO. 2002. Perspectivas para el medio ambiente. En: Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/004/y3557s/y3557s05.pdf>. Acceso: Mayo, 2018.

- García L., Celette F., Gary C., Ripoche A., Valdés-Gómez H., Metay A. 2018. Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 251:158-170.
- INV. 2017. Informe de cosecha y elaboración. Disponible en: www.inv.gov.ar. Acceso: Mayo, 2018.
- IPES / FAO. 2010. Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana. Primera edición, noviembre de 2010. 96 pp.
- Martí L., Filippini M.F., Salcedo C., Drovandi A., Troilo S., Valdés A. 2011. Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: I. Concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 43(2): 203-221.
- Martínez L.E., Ferrari F.N., Uliarte E.M., Reategui J.V., Pino M. 2013. Dinámica de microorganismos en el proceso de compostaje con diferentes tratamientos. IX Reunión Nacional de Biología de Suelos y I Congreso Nacional de Biología Molecular de Suelos. Santiago del Estero, 4 al 6 de septiembre 2013.
- Morábito J. 2011. Riego presurizado en el 15% de los cultivos de Mendoza. Nota en: *Diario UNO*, Sección Economía. 12 de junio de 2011.
- Novelli D. 2018. Alimentos: el consumo responsable trastoca paradigmas. *RIA Vol. 44 N°1* p.4-9.
- Panneton B., Lacasse B. 2004. Effect of air-assistance configuration on spray recovery and target coverage for a vineyard sprayer. *Canadian Biosystems Engineering* 46:13-18.
- Römer W., Schilling G. 1986. Phosphorus requirements of the wheat plant in various stages of its life cycle. *Plant and Soil* 91(2):221-229.
- SENASA. 2017. Programa de control de residuos, contaminantes e higiene en alimentos de origen vegetal. Informe de muestreos períodos 2011/13 y 2014/16. 9 p.
- Sutherland A.M., Parrella M.P. 2009. Mycophagy in Coccinellidae: Review and synthesis. *Biological Control* 51:284-293.
- Tittonell P. 2014. Ecological intensification of agriculture - sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 8:53-61.
- Uliarte E.M., Del Monte R.F. 2006a. Coberturas de flora establecida en viticultura regadía. Informe final de convenio de asistencia técnica: INTA EEA Mendoza - Bodega Norton S.A. Luján de Cuyo: INTA EEA Mendoza p. 54.
- Uliarte E.M., Del Monte R.F., Parera C.A. 2006b. Influencia del manejo de suelo mediante coberturas vegetales en el microclima de viñedos bajo riego (cv. Malbec). *Le Bulletin de l'OIV* 79:5-22.
- Uliarte E.M., Del Monte R.F., Parera C.A., Catania C.D., Avagnina de Del Monte S.M. 2009a. Influencia del manejo de suelo mediante coberturas vegetales establecidas en el desarrollo vegetativo, producción y características de vinos en viñedos bajo riego superficial (cv. Malbec). *Le Bulletin de l'OIV* 82:205-227.
- Uliarte E.M., Del Monte R.F., Ambrogetti A.O., Montoya M.A. 2009b. Evaluación y elección de diferentes especies de coberturas vegetales en viñedos bajo riego de Mendoza. *Revista* 13° año 2:18-34.
- Uliarte E.M., Ferrari F.N., Montoya M.A., Bonada M., Ambrogetti A.O. 2013a. Viticultura orgánica. En: *Bases tecnológicas de sistemas de producción agroecológicos: nodos agrícola ganadero, horticultura orgánica y cultivos perennes*, J.A. Ullé, Editor. Ediciones INTA: Buenos Aires p. 10-31.

- Uliarte E.M., Schultz H.R., Frings C., Pfister M., Parera C.A., Del Monte R.F. 2013b. Seasonal dynamics of CO₂ balance and water consumption of C₃ and C₄-type cover crops compared to bare soil in a suitability study for their use in vineyards in Germany and Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology* 181:1-16.
- Uliarte E.M., Parera C.A., Alessandria E.E., Dalmaso A.D. 2014. Intercambio gaseoso y eficiencia en el uso del agua de cultivos de cobertura con especies nativas (Mendoza, Argentina), exóticas cultivadas y malezas. *AgriScientia* 31:49-61.
- Uliarte E.M., Ambrogetti A.O., Martinez L.E., Montoya M.A., Rizzo P.F., Ferrari F.N. 2015. Evaluación de un implemento mecánico que permite airear pilas de compostaje. En: *Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología - SOCLA*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata: FCyF. 6 p.
- Uliarte E.M., Martinez L.E., Montoya M.A., Ferrari F.N. 2016. Obtención y caracterización de extracto ("té") de compost. Ensayos preliminares sobre plantas de vid. Primera reunión científica del programa nacional recursos naturales, gestión ambiental y ecorregiones del INTA. Buenos Aires. Libro de resúmenes p.85.
- Uliarte E.M., Martinez L.E., Soloa R., Morichetti S. 2017. A large-scale composting experimentation using grape marcs and lees residues from Mendoza wine alcohol industry. XXth Giesco International Meeting. Book of abstracts p.39.
- Villalba R. 2009. Cambios climáticos regionales en el contexto del calentamiento global. En: *Revista Compromiso Ambiental por Mendoza N° 1*. Ediciones Universidad de Congreso: Mendoza p.11-14.

CAPÍTULO 10

EL USO DE “PLANTAS INSECTARIO” COMO APORTE AL MANEJO DE PLAGAS EN HORTALIZAS DE HOJA EN EL NORDESTE DE ENTRE RÍOS



Beatriz M. Diaz¹



María A. Martínez^{1,2}

¹ INTA. Centro Regional Entre Rios. Estación Experimental Agropecuaria Concordia, Entre Rios, Argentina. Grupo Hortícola

² Becaria CONICET-INTA

Correo electrónico: diaz.beatriz@inta.gob.ar; martinez.alejandraa@inta.gob.ar

Resumen

La producción agroecológica requiere del diseño de agroecosistemas diversificados que provean servicios ecosistémicos como son la polinización y regulación de las plagas. En este sentido el Control Biológico por Conservación (CBC) es una táctica del Manejo Integrado de Plagas que permite proveer los recursos alimentarios y refugio requeridos por los enemigos naturales para incrementar su acción sobre las plagas. Una de las estrategias que utiliza el CBC es el uso de “plantas insectario”. Éstas se asocian bien a cultivos de ciclo corto tales como las hortalizas de hoja que generan perturbaciones en el agroecosistema y no pueden proveer recursos para los enemigos naturales, hecho que puede compensarse con la adición de infraestructuras ecológicas, tales como las franjas florales.

Desde el año 2015 se está evaluando la incorporación de franjas de aliso (*Lobularia maritima*) en los sistemas de producción de lechuga agroecológica bajo cubierta en el nordeste de la provincia de Entre Ríos. Esto ha permitido establecer cuáles son los enemigos naturales más significativos que visitan las flores de aliso y su acción sobre el control biológico de las plagas. Entre los enemigos naturales se destacan los sírfidos y las arañas. Al mismo tiempo se ha determinado los servicios y antiservicios que brinda esta planta dentro del agroecosistema hortícola que ha determinado la recomendación para su asociación con los cultivos locales. Se ha estudiado además cómo la presencia de la franja floral afecta la dinámica espacio-temporal de las plagas y los sírfidos. Se observa el incremento progresivo del control biológico de las principales plagas que afectan al cultivo de lechuga.

También se ha evaluado al trigo sarraceno (*Fagopirum esculentum*) como planta insectario comprobándose que sus flores son visitadas principalmente por polinizadores, seguidos de enemigos naturales y muy pocos herbívoros. A los estudios ya mencionados hay que destacar una línea de trabajo reciente en la que se están evaluando variedades ornamentales obtenidas por INTA a partir de germoplasma nativo las que se están asociando a cultivos de lechuga y acelga. Se está trabajando con cuatro géneros tales como *Calibrachoa*, *Nierembergia*, *Mecardonia* y *Glandularia* y dos variedades dentro de cada uno de ellos seleccionados en función del color y de la morfología floral.

Dado que el CBC y específicamente el uso de plantas ornamentales como “insectario” está muy poco desarrollado en Argentina, el presente capítulo puede contribuir al rediseño de los agroecosistemas hortícolas actuales que pretenden iniciar o consolidar una transición hacia la agroecología.

Palabras clave: Horticultura, Manejo Integrado de Plagas, Control Biológico por Conservación, Servicios ecosistémicos

Summary

Agroecological production requires the design of diversified agroecosystems to provide ecosystem services such as pollinization and pest regulation. In this way Conservation Biological Control (CBC) is a tactic within the Integrate Pest Management (IPM) that allows provide food resources and refuge required by natural enemies to increase their action on pests. One of the strategies used by CBC is the use of “insectary plants” which are a good tool to associate with ephemeral short cycle crops, as leafy vegetable which cause disturbance in the agroecosystems and do not able to provide resources for natural enemies. This disadvantage can be compensated with the addition of ecological infrastructures as flower strips.

From 2015, we assessed the addition of alyssum (*Lobularia maritima*) flower strip to agroecological lettuce crops grown in greenhouses in the noreast of Entre Rios province (Argentina). These studies allowed determine the alyssum flower visitors and their role in the biological control of the lettuce pests. Among natural enemies, syrphids and aranaes highlight. Services and disservices provided by the addition of

alyssum within an horticulture agroecosystem was determined to recommend its association with local crops. The spatio-temporal dynamic of lettuce pests and syrphids were studied to determine the influence of the alyssum floral strip on the movement of lettuce pests and their syrphid predators. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) has also been evaluated as an insectary plant, proving that its flowers are visited mainly by pollinators, followed by natural enemies and very few herbivores. Recent studies were focused on commercial ornamental plants obtained by INTA from native germoplasm of Argentina. Currently four native genera, as *Calibrachoa*, *Nierembergia*, *Mecardonia* and *Glandularia*, and two varieties within each genera, were selected taking into account their flower colour and morphology to determine their attractiveness to natural enemies.

Conservation Biological Control and the use of ornamental plants as “insectary plants” is understudied in Argentina, therefore this chapter could contribute to redesign current horticulture agroecosystems in which farmers want to start or consolidate an agroecological transition.

Keywords: Horticulture, Integrated Pest Management, Conservation Biological Control, Ecosystem services

1. Introducción

Desde una perspectiva ecosistémica es indispensable tener en cuenta las múltiples relaciones que se establecen entre el suelo y las prácticas de manejo de los cultivos, muchas de las cuales pueden ser capitalizadas efectivamente para la regulación de plagas y enfermedades (Ratnadass et al., 2006). Este enfoque forma parte de los principios del Manejo Integrado de Plagas (MIP) que en términos de servicios ecosistémicos hace hincapié en la regulación de plagas y enfermedades (Barzman et al., 2015). En este mismo sentido la agroecología ha puesto foco en la protección de cultivos considerando particularmente la ingeniería ecológica un pilar para el manejo de plagas (Altieri, 1995; Nichols and Altieri, 2004). Posteriormente, Deguine et al. (2008) desarrollaron el término “protección agroecológica de cultivos” concibiendo que el manejo de plagas necesita de la aplicación de conocimientos ecológicos en el diseño y manejo de los sistemas de producción con el fin de optimizar los procesos ecológicos y reducir o eliminar la necesidad de aportes externos, como son los insecticidas. En este contexto es donde se incluyen las técnicas para llevar a cabo la manipulación del hábitat en la que se fundamenta el Control Biológico por Conservación (CBC). El mismo consiste en la modificación del ambiente para proveer hábitat y recursos que favorezcan el establecimiento temprano y el desarrollo de enemigos naturales endémicos (Landis et al., 2000). Esta acción tiene como objetivo mayor conservar la biodiversidad, promover las funciones ecológicas y los servicios ecosistémicos críticos que se han perdido con la intensificación de la agricultura (Landis, 2017).

En este sentido, los sistemas hortícolas ofrecen ventajas para incorporar la manipulación de hábitat por el tamaño limitado de las parcelas, por la posibilidad de crear y manipular ecosistemas diversificados y/o por la oportunidad de incorporar setos o franjas florales en los predios de cultivo capaces de mantener las cadenas tróficas y así sostener la biodiversidad local (Lescourret et al., 2016). La vegetación que se adiciona a los sistemas productivos se las ha denominado “plantas secundarias” y son las encargadas de proveer alimento (polen y néctar) o refugio para los enemigos naturales, modificando así las relaciones multitróficas que se establecen entre las plantas, los herbívoros y los enemigos naturales (Parolin et al., 2012). Una forma en la que se incorporan estas plantas al agroecosistema es a través de franjas florales temporarias. Las mismas están compuestas por una o varias especies vegetales a las que se denominan “plantas insectario” por atraer y posiblemente mantener con los recursos (polen y néctar) de sus flores a poblaciones de enemigos naturales que contribuyen al control biológico (Parolin et al., 2012) y la polinización, a la vez que promueven otros servicios ecosistémicos tales como, la conservación de la biodiversidad y la estética del paisaje (Westphal et al., 2017). En este capítulo se exponen los principios generales que se aplican en la selección de una “planta insectario” y cómo se están aplicando para la selección de plantas candidatas nativas y exóticas que pretenden ser incorporadas en los sistemas hortícolas en transición agroecológica del nordeste de la provincia de Entre Ríos.

Funciones y atributos de una “planta insectario” en el agroecosistema

Las plantas han evolucionado y desarrollado diferentes mecanismos de defensa, entre los que pueden considerarse los recursos alimenticios que ofrecen a los depredadores y parasitoides. Este mecanismo les ha permitido a las plantas, a través de su historia evolutiva, mejorar la efectividad de los enemigos naturales para defenderse indirectamente de los herbívoros (Wäckers et al. 2005). Entre los recursos alimentarios que proveen las plantas se destaca el polen, el néctar y melazas como nutrientes esenciales para los enemigos naturales que no pueden ser obtenidos de sus presas o huéspedes. El néctar aporta carbohidratos que dan la energía para mantener la actividad metabólica, mientras que el polen aporta las proteínas, vitaminas y minerales que se requieren para aumentar la longevidad femenina (Mitsunaga et al. 2004). El polen y néctar son críticos para la supervivencia y éxito reproductivo de algunos enemigos naturales como los sírfidos y los parasitoides (Lu et al. 2014).

Los recursos provistos por las flores son muy importantes para los himenópteros parasitoides cuyas hembras pueden ser sinovigenicas o proovigenicas, en el primer caso los huevos maduran a lo largo de la vida de la avispa y como consecuencia requieren de alimentos como polen y néctar (Tavares y Aquino, 2014), en el segundo caso nacen con una dotación madura de huevos pero visitan las flores para cumplir con los requerimientos metabólicos de nutrientes y para mantenerse activos (Jervis et al. 1993). La escasez de alimentos puede conducir a que las avispas hembras reabsorban los óvulos maduros y redirijan la energía en la búsqueda de refugio y la supervivencia, reduciendo así su fecundidad. En términos generales, la disponibilidad de alimento suele afectar la eficiencia en la búsqueda de presas y la capacidad reproductiva de artrópodos depredadores y parasitoides (Rivero and Casas, 1999).

Además debe considerarse como recurso para los enemigos naturales la presencia de nectarios extraflorales. Se trata de glándulas productoras

de néctar que físicamente están localizados fuera de la flor en diversas partes de la planta como los bordes de las hojas, pecíolos, brácteas, entre otros. Estas adaptaciones morfológicas son de importancia desde el punto de vista del manejo del hábitat y control biológico ya que pueden ofrecer recursos a los enemigos naturales en épocas de escasez de presas o huéspedes, pudiendo así limitar la presencia de enemigos naturales en los paisajes agrícolas (Walton and Isaac, 2011).

Criterios para la selección e introducción de “plantas insectario” en un agroecosistema

El primer paso para introducir “plantas insectario” en los esquemas productivos es la selección de plantas candidatas que deben cumplir algunos criterios generales basados en mecanismos ecológicos por los cuales los enemigos naturales son favorecidos sobre las plagas (Lu et al. 2014; Rodríguez y González, 2014). Entre ellos pueden citarse:

- 1 - Evaluar las plantas previamente para descartar aquellas que actúen como reservorio de plagas y patógenos que puedan ocasionar daños y/o transmitirse a los cultivos.
- 2 - Seleccionar plantas que no tengan posibilidad de convertirse en invasoras para los cultivos.
- 3 - Seleccionar plantas que proveen recursos alimenticios tales como néctar, polen y/o nectarios extraflorales para artrópodos benéficos.
- 4 - Considerar en la selección de las plantas florales características que influyen en su atracción hacia los enemigos naturales (olor, tamaño y color de las flores), así como la accesibilidad de sus nectarios para los mismos. Estos aspectos tienen un gran impacto en las interacciones entre los parasitoides y sus huéspedes en un agroecosistema (Bianchi and Wäckers, 2008).
- 5 - Seleccionar plantas cuyo periodo de floración coincidan con el ciclo del cultivo, o bien establecer una cascada de floración, para lo cual se debe disponer de diferentes especies de “planta

insectario” que aporte recursos alimenticios de manera continua.

6 - Seleccionar preferentemente plantas nativas que estén disponibles en viveros comerciales, considerando que pueden tener varias ventajas sobre las exóticas ya que se suponen adaptadas al clima y suelos locales y han coevolucionado con la fauna nativa. Por lo tanto, es menos probable que se comporten como invasoras fuera de las áreas de cultivo como las exóticas y que interactúen diferencialmente con componentes de la fauna nativa (Fiedler and Landis, 2007).

7 - Seleccionar plantas que presenten un manejo sencillo para el productor, donde no le implique mayores gastos económicos ni de tiempo.

Caracterización de los sistemas hortícolas del nordeste de la provincia de Entre Ríos

En la provincia de Entre Ríos, situada en la Mesopotamia Argentina, la horticultura es una actividad poco desarrollada hasta el momento pero con alto potencial en un futuro cercano. Sus principales zonas productoras se localizan en las márgenes este y oeste de la provincia, en las costas de los ríos Uruguay y Paraná respectivamente, mientras que en el interior es más escaso. Aún así la producción actual no alcanza para el autoabastecimiento de la población. En la región nordeste de la provincia, situada en la costa del río Uruguay, la producción se extiende de sur a norte desde los departamentos Colón, Concordia y Federación. En el departamento Concordia los predios productivos son de 0,5 a 1,5 ha apareciendo como parches entre las producciones dominantes que son citricultura y la forestación. La producción hortícola de la zona alcanza para abastecer el 20% de la demanda local por lo que el resto proviene principalmente de cinturones hortícolas de las provincias Santa Fé y Buenos Aires, situados en éste último caso en las localidades de La Plata y Mar del Plata.

La importancia de la incipiente producción hortícola en el departamento Concordia radica en tér-

minos cualitativos por tratarse de una agricultura de tipo familiar, con gran significado socioeconómico y cultural, que realiza un aporte a la economía regional y contribuye al desarrollo local. En este territorio pueden distinguirse dos subsistemas productivos, uno basado en horticultura extensiva en los que se realizan cultivos como batata (*Ipomoea batatas*) con variedades de pulpa naranja que lo distinguen de otras zonas productoras del país, sandía (*Citrullus lanatus*), melón (*Cucumis melo*), zapallo coreano (*Cucurbita moschata*) y de tronco (*Cucurbita maxima*, var. *zapallito*). Dentro del subsistema intensivo predominan las hortalizas de hoja, tales como lechuga (*Lactuca sativa*), acelga (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*), espinaca (*Spinacea oleracea*) y rúcula (*Eruca sativa*), éste último como cultivo emergente en los últimos años y en menor proporción tomate (*Solanum lycopersicum*), pimiento (*Capsicum annum*) y frutilla (*Fragaria annanasa*).

El predominio de producción de hortalizas de hoja se debe a que poseen un corto ciclo de producción, requieren una baja inversión de capital y tienen una demanda sostenida, características que les permiten a los productores obtener ingresos estables a lo largo del año. En la actualidad, la protección de las hortalizas de hoja en la región se realiza en forma convencional, es decir el manejo de plagas se basa en el uso de insecticidas químicos de amplio espectro lo que ocasiona contaminación de los recursos naturales y genera riesgos para salud humana y la seguridad alimentaria, por la posible presencia de residuos de plaguicidas a cosecha. A este hecho se suma la escasa disponibilidad de principios activos registrado para el uso en cultivos hortícolas lo que no permite hacer rotaciones de productos ocasionando una pérdida de efectividad de los mismos por la aparición de resistencia en las plagas que se pretende controlar.

La comercialización de la producción local se realiza a través de cadenas cortas, ya que principalmente el productor vende en forma directa a las verdulerías o a través de mayoristas y ferias locales. Este hecho presenta ventajas para el productor pero como desventaja a lo señalado debe mencionarse

que los productos de cosecha que se comercializan localmente no cuentan con control de residuos de plaguicidas, existiendo actualmente el riesgo de que excedan los límites permitidos y plazos de carencia cuando llegan a los consumidores. Este hecho se ve agravado en las hortalizas de hoja cuyo órgano de consumo es el que recibe directamente la aplicación de productos fitosanitarios. Todo lo expuesto ofrece una oportunidad para la transformación de los sistemas de producción actual a nuevos sistemas productivos sustentables basados en principios y fundamentos de la agroecología.

Acompañando este proceso de transformación de la horticultura local desde la Estación Experimental Concordia de INTA, el Grupo Hortícola fomenta la transición hacia la producción agroecológica, basándose en el desarrollo y aplicación de tecnologías de bajo impacto ambiental (Castresana et al., 2017a) que van desde la desinfección biológica del suelo mediante la técnica de biosolarización (Rosenbaum, 2017), el desarrollo y evaluación de nuevos bioplaguicidas de origen botánico, el desarrollo de nuevas trampas para el monitoreo de plagas (Castresana y Puhl, 2017b) y de dos estrategias de control biológico de plagas, inundativa y por conservación (Díaz, et al., 2016; Castresana et al., 2017c; Martínez, et al., 2018), así como la promoción de productos de bajo impacto ambiental (banda verde) y bioinsumos (Mousqués, 2016). Para afianzar el uso de bioinsumos se participó en 2016 junto a otras instituciones y actores del territorio, como la Mesa de Gestión Local de la Economía Social y Solidaria (MEGLESS), del Programa de Fomento de Uso de Bioinsumos (PROFOBIO, Ministerio de Agroindustria) que permitió entregar un kit de bioinsumos a 30 productores locales y capacitarlos para su correcta aplicación. Es así como la experimentación e investigación aplicada que se inicia en el Módulo Hortícola de la E.E.A. Concordia, se transfiere paulatinamente a los productores locales a través de ensayos participativos para fomentar la transición agroecológica de sus sistemas productivos (Castresana et al., 2017c). Como resultado de ello los productores han contado sus avances y ex-

periencias en la Jornada Hortícola 2017 “Hacia la producción hortícola sustentable” realizada en dicha estación experimental del INTA, incentivando a sus pares a producir cambiando el enfoque actual.

Estudios económicos realizados en un productor local de tomate en transición agroecológica revelaron un leve aumento del margen bruto del cultivo con el paquete de técnicas de bajo impacto ambiental con respecto al manejo convencional que hacía el productor (Pagliaricci et al., 2017). A éstos estudios se suman otras herramientas como es la realización de análisis de sustentabilidad nivel de predial que permite evaluar el estado de los recursos naturales, la biodiversidad, detectar puntos críticos, evaluar la percepción y posibilidad de adopción de las nuevas tecnologías (Díaz et al., 2017a). Los productores que están transitando el camino hacia la agroecología tienen en la actualidad la posibilidad de comercializar sus productos en una red de comercio justo local (Piri-Hué, <https://www.pirihue.com/>) que los vincula en forma directa con los consumidores, quienes valoran la producción local diferenciada en el territorio. Una vez recorrida la etapa de transición se pretende que los productores rediseñen definitivamente los sistemas productivos locales y diferencien sus producciones en el mercado local, basándose en principios agroecológicos.

Evaluación de “plantas insectario” en la horticultura del nordeste de Entre Ríos

Las evaluaciones de “plantas insectario” tanto exóticas como nativas que se presentan a continuación fueron evaluadas en el Módulo Hortícola de la E.E.A. INTA Concordia situada al nordeste de la provincia de Entre Ríos (31° 22' Lat. S, 58° 07' Long. O).

1 - Plantas exóticas

A nivel mundial existe un grupo reducido de plantas que han sido utilizadas en muchos estudios por los recursos alimentarios que les proveen a los enemigos naturales y los beneficios que proveen al

incorporarlas en habitats permanentes. Entre ellas se encuentran las siguientes especies: aliso (*Lobularia maritima*), borraja (*Borago officinalis*), coriandro (*Coriandrum sativum*), trigo sarraceno (*Fagopirum esculentum*), vicia (*Vicia faba*), eneldo (*Anethum graveolens*) (Fiedler and Landis, 2007).

En este estudio se evaluó el desempeño del aliso y trigo sarraceno como “plantas insectario” con el objetivo de incorporarlas a los agroecosistemas hortícolas locales. A continuación se presentan características botánicas de cada una de estas especies y sus principales visitantes florales representados por enemigos naturales, polinizadores y herbívoros.

a - Aliso (*Lobularia maritima*)

El aliso es una planta nativa de la región mediterránea que pertenece a la familia de las Brassicaceas. Según las condiciones ambientales puede comportarse como anual o perenne, tal como sucede en regiones de clima templado. Existen diferentes variedades comerciales que varían su altura entre 10 a 30 cm (**Foto 1**). Su multiplicación es por semillas y tras un corto período vegetativo desarro-

lla una inflorescencia con corimbos terminales densos de flores diminutas de cuatro pétalos, de color blanco o violeta, que en el período de fructificación se alargan en racimos. En la etapa reproductiva las plantas proveen una fragancia dulce semejante al aroma de la miel debido a la alta producción de néctar de sus flores. El período de floración puede extenderse durante todo el año en las zonas de climas templados, tal como sucede en el nordeste de Entre Ríos. Esta planta usada con frecuencia como ornamental no requiere demasiado mantenimiento, sin embargo, algunas prácticas como las podas de rejuvenecimiento en otoño y primavera, en las que se eliminan las partes senescentes, permiten mantener las matas siempre verdes para asegurar la continuidad de su floración.

Visitantes florales del aliso

En el estudio se evaluó a esta especie en condiciones de invernadero y a campo con el objetivo de determinar sus visitantes florales que pudieran aportar al control biológico de las plagas principales de los cultivos hortícolas, especialmente de hoja ya que existen antecedentes en la región de



Foto 1 Variedades de aliso (*Lobularia maritima*) de porte bajo (a) y alto (b)

California (EEUU) donde se la asocia para la producción de lechuga orgánica (Brennan, 2013) por su aporte de néctar y polen a los enemigos naturales.

Tanto en condiciones de campo como en invernadero se determinó que los principales visitantes florales correspondieron a los órdenes Diptera, Hymenoptera y Coleoptera (**Tabla 1**). Además en invernadero se evidenció la visita a sus flores de especies pertenecientes a los órdenes Hemiptera y Lepidoptera (**Tabla 1**).

Dentro del orden Diptera, las familias Syrphidae y Tachinidae fueron las más abundantes en los dos ambientes evaluados. Los individuos de la familia Syrphidae conocidos vulgarmente como “sírpidos” o “moscas de las flores” son moscas que se alimentan de néctar y polen de las flores sobre las que son observadas con frecuencia e identificadas por su particularidad de mantenerse suspendidas inmóviles en el aire por un tiempo apreciable, antes de posarse sobre las flores de las que se alimenta. El consumo de estos dos recursos es indispensable para alcanzar una buena aptitud reproductiva y dejar mayor descendencia por parte de las hembras. Desde el punto de vista funcional su acción sobre las flores hace que sean considerados como los polinizadores más importantes después de las abejas, mientras que sus larvas tienen un régimen alimentario variado entre las que destaca la sub-familia Syrphinae que ejercen una acción depredadora al alimentarse de insectos de cuerpo blando, principalmente de pulgones, seguidos de trips y mosca blanca, entre otros. En estos estudios se evidenció la presencia de *Allograpta exotica*, *Allograpta obliqua* (**Foto 2a**), *Toxomerus duplicatus*, *Toxomerus watsonii* y *Syrphus ribesii* alimentándose de las flores de aliso. Además permitió registrar por primera vez a *T. duplicatus* en la provincia de Entre Ríos, mientras que *T. watsonii* constituye la primera cita en la Argentina (Maza y Díaz 2016; Díaz y Maza, 2017b). Su acción de control biológico sobre las plagas hortícolas se tratará más adelante. En cuanto a las moscas de la familia Tachinidae, también registradas como visitantes florales del aliso tienen mucha importancia ya que sus larvas se comportan como parasitoides de otros

insectos, como Coleópteros, Ortópteros, Hemípteros y Lepidópteros.

Dentro del orden Coleoptera, la familia Cantharidae (“cantáridos”) observada sólo en cultivos de campo y la Coccinellidae (“vaquitas”) registrada tanto a campo como en invernadero, fueron las más representativas dentro de este orden como visitantes florales del aliso cumpliendo diferentes funciones dentro del agroecosistema. Las especies que incluye a los cantáridos se comportan como polinizadores, mientras que las vaquitas actúan como depredadores polípagos consumiendo a diversos insectos plaga. En invernadero las especies de vaquitas estuvieron representadas por las especies *Eriopsis conexa*, *Cycloneda sanguinea* y *Colleomegilla quadrifasciata octodecimpustulata* (**Foto 2b**) todas ellas son depredadoras de pulgones, trips y otros insectos de cuerpo blando. Además de lo mencionado en invernadero se registró ocasionalmente a la especie *Calosoma sp.* (Fam. Carabidae, considerado como un importante depredador de larvas de lepidópteros y como herbívoro a *Diabrotica speciosa* (Fam. Crysomelidae) alimentándose de las flores de aliso.

El orden Hymenoptera estuvo representado por especies de las familias Apidae, principalmente por la abeja melífera (*Apis mellifera*) y especies de la familia Halictidae, ambas consideradas como importantes polinizadores. Los individuos de ésta última familia son conocidos como “abejas del sudor” o “abejas metálicas”, en el primer caso se las llama así porque son atraídas por el sudor humano, en el segundo caso por la coloración del cuerpo que puede ser metálica azul, verde o roja (**Foto 2c**).

En condiciones de campo se observaron también especies de la familia Vespidae vulgarmente conocidas vulgarmente “avispas” y en invernadero a hormigas como representantes de la familia Formicidae.

En el ambiente protegido cabe destacar dentro del orden Hemiptera la presencia a la “chinche pirata” *Orius sp.* (Familia Anthocoridae) como activa depredadora principalmente de huevos y formas móviles de trips, ácaros y larvas de lepidópteros.

La mayor diversidad de herbívoros observados

Orden	Familia	Especie	Visitantes florales de aliso	Colonizantes de lechuga	Gremio	
Hemiptera	Anthocoridae	Orius sp.	X		Dr	
	Pentatomidae	Edessa meditabunda		X	H	
	Aphididae	Uroleucon sonchi			X	H
		Macrosiphum euphorbiae			X	H
		Myzus persicae			X	H
Coleoptera	Carabidae	Calosoma sp.		X	Dr	
	Crysmelidae	Diabrotica speciosa	X		H	
		Astylus vittaticolis	X		P	
	Coccinellidae	Eriopis conexa	X	X	Pr	
		Cycloneda sanguinea	X	X	Pr	
		Colleomegilla quadrifasciata octodecimpustulata	X	X	Pr	
	Diptera	Syrphidae	Allograpta exotica	X		Dr
			Allograpta obliqua	X		Dr
			Toxomerus duplicatus	X	X	Dr
			Toxomerus watsonii	X	X	Dr
		Syrphus ribessi	X		Dr	
		Ornidia sp.	X		D	
		Eristalis sp.	X		D	
		Tachnidae	X		Pa	
		Muscidae	X			
		Dolichopodidae			X	Dr
Thysanoptera	Triptidae	Frankliniella sp.	X	X	H	
		Caliothrips phaseoli		X	H	
Lepidoptera	Gelechidae	Hymenia prospectalis	X		H	
	Plutellidae	Plutella xylostella	X		H	
	Noctuidae	Heliothis sp.	X		H	
		Spodoptera frugiperda			X	H
		Cryodeixis includens			X	H
		Agrotis sp.			X	H
		Pyralidae	Achira bifidalis		X	H
		Arctiidae	Spilosoma virginica		X	H
		Nymphalidae	Agraulis vanillae	X		H/P
	Tegosa orobia		X		H/P	
Hymenoptera	Apidae	Apis mellifera	X		P	
	Halictidae		X		P	
	Formicidae		X		P	
Aracnidae	Araneae			X	Dr	

Tabla 1 - Listado de artrópodos visitantes florales de aliso (*Lobularia maritima*) y colonizantes de lechuga (*Lactuca sativa*) agroecológica en invernadero H: herbívoro, Dr: depredador, Pa: parasitoide, P: polinizador



Foto 2. Visitantes florales de especies exóticas y nativas cultivadas en la E.E.A. INTA Concordia, Entre Ríos. 2a Adulto del sírfido *Toxomerus sp.* sobre aliso; 2b Adulto de la vaquita *Colleomegilla quadrfasciata octodecimpustulata* sobre aliso; 2c Halictidae sobre trigo sarraceno; 2d Avispa *Polybia occidentalis* sobre tripo sarraceno; 2e Adulto del sírfido *Toxomerus sp.* sobre *Glandularia* var. Alba INTA; 2f Abeja nativa *Caenonomada bruneri* sobre *Nierembergia* var. Cielo INTA; 2g Abeja *Apis mellifera* sobre *Mecardonia* var. Guarani INTA; 2h Abeja nativa *Ancyloscelis sp.* sobre *Calibrachoa* var. Overá Fucsia INTA

alimentándose de las flores de aliso correspondieron a varias familias del orden Lepidoptera (“mariposas”), entre las que se encontraron plagas hortícolas como la “polilla del repollo”, *Plutella xylostella* (Fam. Plutellidae), *Hymenia perspectalis* (Fam. Crambidae) “mariposita de la acelga” y representantes de la familia Noctuidae (*Heliothis sp. Spodoptera frugiperda* “oruga cogollera”, y *Crysoideixis includens* “oruga falsa medidora de la soja”), seguido del orden Thysanoptera en el que se registraron individuos de los géneros *Frankliniella sp.* “trips de las flores” y *Caliothrips phaseoli* “trips de las leguminosas” (Tabla 1)

b. Trigo sarraceno (*Fagopirum esculentum*)

El trigo sarraceno es una planta perteneciente a la familia de las Poligonáceas del sur de Asia (Foto 3). Es una especie anual con un tallo de color rojo bastante ramificado que alcanza entre 20 y 80 cm de altura. Posee hojas en forma de corazón y un sistema radicular poco profundo. Sus flores están agrupadas en racimos y pueden ser de color blanco o rosa (Foto 3). Presentan dos tipos de flores, brevistilas (las anteras están por encima de los estigmas)

longistilas (los estilos son largo y las anteras cortas). Las flores son autoincompatibles siendo la polinización entomófila. Este hecho se va favorecido por la presencia de glándulas en la base del ovario de la flor encargadas de segregar néctar, cumpliendo la función de atraer a los insectos. El trigo sarraceno es una especie sensible a heladas, aunque puede tolerar temperaturas frías. El trigo sarraceno es muy usado como cultivo de cobertura dado que posee un crecimiento rápido capaz de formar un canopeo denso en poco tiempo, convirtiéndose así en un efectivo supresor de malezas en época estival. Por otra parte, su cultivo tiene una acción muy positiva al mejorar la estabilidad de los agregados del suelo, y favorecer la disponibilidad de nutrientes como el calcio y fósforo (Bjökman et al., 2008). A continuación se exponen sus principales visitantes florales.

Visitantes florales del trigo sarraceno

Los visitantes florales del trigo sarraceno correspondieron principalmente a los órdenes Hymenoptera (77 %), Diptera (18,6 %) y Coleoptera (2,4 %), Hemiptera (1 %) y Lepidoptera (1 %). Dentro del



Foto 3. Vista del cultivo de trigo sarraceno (*Fagopirum esculentum*) en plena floración (a) y detalle de su inflorescencia (b)

orden Hymenoptera las familias más representativas fueron Halictidae, abejas silvestres de colores brillante (ver aliso) (**Foto 2c**) y Apidae, representada ésta última por la abeja melífera (*A. mellifera*) y abejas nativas demostrando la gran atracción que ejercen las flores de trigo sarraceno hacia los polinizadores. Aunque en menor proporción que las anteriores, la familia Vespidae (“avispas”) también se registró como visitante floral del trigo sarraceno y estuvo representada por especies tales como *Brachygastra lecheguana* (“lechiguana”) y *Polybia occidentalis* (“camoati” o “camuati”) (**Foto 2d**). Los enemigos naturales estuvieron representados por el orden Diptera con las familias Dolichopodidae (“moscas de las patas largas”) que son activos depredadores de pulgones, y la Syrphidae (“moscas de las flores”) representada por los géneros *Toxomerus* sp. y *Allograpta* sp. cuyas larvas son depredadoras y la familia Tachinidae como parasitoides, tal como se indicó en el punto anterior.

En cuanto al orden Hemiptera las familias Reduviidae y Nabidae destacan como depredadores polípagos mientras que el orden Coleoptera estuvo representada por la vaquitas (Fam. Coccinellidae) con especies como *Colleomegilla quadrifasciata octodecimpustulata* tal como se encontró sobre aliso (**Foto 2b**) con marcada actividad depredadora y como fitófagos a la especie *Astylus atromaculatus* (“siete de oro”) de la familia Melyridae. La estructura trófica de los visitantes florales del trigo sarraceno reveló la importante atracción que ejercen sus flores a los de los polinizadores y a los enemigos naturales frente a los fitófagos que se alimentan de las mismas por lo que puede considerarse una promisoría “planta insectario” para incorporarse a los agroecosistemas locales (Díaz et al., 2018).

2 - Plantas ornamentales de germoplasma nativo

El objetivo de incorporar al estudio plantas nativas es debido a que se considera que tienen mayor oportunidad de convertirse en “plantas insectario”

candidatas, con respecto a las especies exóticas, debido a sus bajos requerimientos nutricionales e hídricos, a su mayor adaptación a las condiciones agroclimáticas y a los enemigos naturales locales. Por ello para este estudio se seleccionaron variedades ornamentales comerciales obtenidas a partir de cuatro géneros nativos de Argentina, como son *Calibrachoa*, *Glandularia*, *Mecardonia* y *Nierembergia*. La colecta de germoplasma en el territorio argentino fue llevada a cabo por profesionales del Instituto de Floricultura de INTA Castelar (Buenos Aires) quienes posteriormente realizaron su mejoramiento y la obtención de distintas variedades que están disponibles en el mercado interno, además de ser requeridas en mercados externos como Estados Unidos, Canadá, Japón y algunos países de Centroamérica (INTA Informa, 2017). Para este estudio se seleccionaron dos variedades de cada género mencionado anteriormente, con el fin de estudiar sus atributos como “planta insectario” para ser incorporadas a los agroecosistemas hortícolas. A continuación se realiza breve descripción de las características de cada género y de las variedades evaluadas, así como la atracción que ejercieron frente a los visitantes florales en el lugar de estudio.

a - Género *Glandularia* variedades Hana Magenta INTA y Alba INTA

Glandularia es un género exclusivamente americano, de distribución disyunta, perteneciente a la familia Verbenaceae (Peralta y Múluza, 2011). Para este estudio se seleccionaron las variedades *Glandularia* var. Hana Magenta INTA y *Glandularia* var. Alba INTA (**Foto 4**). La primera se caracteriza por presentar un porte de baja altura de aproximadamente 10 cm. El color del follaje es oscuro y las flores se presentan en inflorescencias de color fucsia-magenta. Tiene un periodo de floración prolongado, desde primavera hasta otoño (Bologna y Facciuto, 2017). La variedad *Glandularia* var. Alba INTA posee una gran rusticidad, porte erecto, con hojas divididas de color verde claro e inflorescencias en espigas que soportan las flores de color blanco du-

rante el período primavera-estival (Martinez et al. 1996). La variedad Alba INTA mostró en el nordeste de Entre Ríos un buen desarrollo de la planta pero su floración no fue continua en toda la mata, sino que presentó una floración heterogénea en el tiempo y espacio, observándose en un momento dado partes de la mata con y sin flores.

Visitantes florales

Con respecto a los visitantes florales, el género *Glandularia* mostró una preferencia por representantes del orden Diptera (**Tabla 2**) que en su mayoría correspondieron a la familia Syrphidae, siendo especies del género *Toxomerus* el más frecuente (**Foto 2e**). En segundo lugar, se encontró el orden Hymenoptera el cual estuvo representado por las familias Vespidae, Sphecidae, Chalcididae, Halictidae y Formicidae, que fueron observadas únicamente sobre las flores de la variedad Alba INTA (Tabla 2). Como se mencionó anteriormente los representantes de la familia Vespidae se alimentan sobre flores y son depredadoras de otros artrópodos lo que sugiere su potencial como bioncontroladores. Los individuos observados correspondieron a dos especies de avispas silvestres *Polybia ignobilis* y *Polybia scutellaris* (“camuatí” o “camoati”) y a *Polistes*

sp. (“avispa colorada”). Especies de estos dos géneros de avispas fueron estudiadas como potenciales agentes de controladores biológicos de larvas de lepidóptero y otros artrópodos (Hernández et al. 2009, Elisei et al. 2010, López et al. 2013). Durante las observaciones realizadas en este estudio, *P. ignobilis* manifestó un comportamiento muy activo en pos de la búsqueda de presas, tales como larvas de lepidópteros, a las que se observó transportando en reiteradas ocasiones.

La familia Sphecidae llamada vulgarmente como “esfécidos” son avispas solitarias, solo unas pocas presentan algún comportamiento social, son depredadoras y utilizan como presa una gran variedad de insectos y arañas, a los que paraliza para que les sirvan de alimento para sus larvas. Hacen sus nidos en el suelo, en cavidades en tallos, en orificios, o hacen nidos de barro fijados a diferentes sustratos. Dentro de esta familia muchas han sido consideradas importantes como controladores biológicos de plagas (Willink, 1998).

La familia Chalcididae son “avispietas parásitas” de distribución cosmopolita, son principalmente endoparasitoides primarios o hiperparasitoides de pupas jóvenes de lepidópteros y larvas maduras de moscas. Las hembras son sinovigénicas y tal como se explicó anteriormente, los huevos se desarrollan

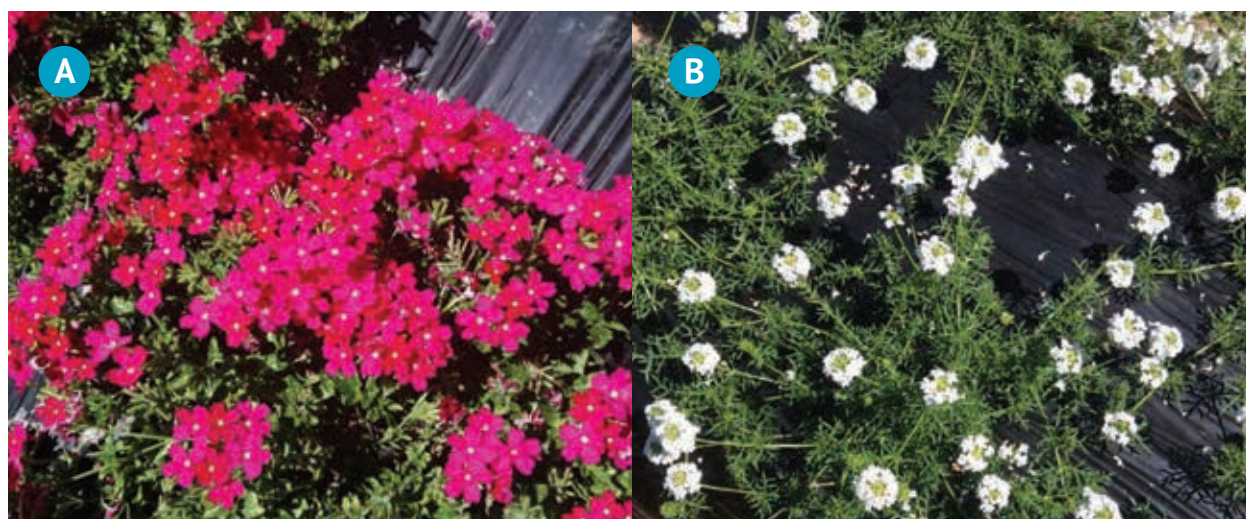


Foto 4. Plantas del género *Glandularia* variedades Hana Magenta INTA (A) y Alba INTA (B)

gradualmente durante la vida de la hembra y algunas especies se alimentan de néctar. Esto último puede explicar la presencia de avispidas del género *Conura* sp., alimentándose de las flores de *Glandularia* var. Alba INTA.

La familia Formicidae (hormigas) son insectos sociales; secundariamente algunas especies son parasíticas. Los individuos que se registraron durante el muestreo correspondieron a la especie *Camponotus mus* se la llama vulgarmente “hormiga carpintera”, ya que forma sus nidos en troncos vivos, secos o podridos, en las ramas o cañas, aunque pude hacerlo en grietas y bajo piedras (Kusnezov, 1963). Su alimento proviene tanto de exudados de insectos (“honeydew”) así como de soluciones azucaradas que las obtiene de los nectarios extraflorales (Josens, 2000). La presencia de nectarios extraflorales como ocurre en *Glandularia* var. Alba INTA atrajo a la hormiga *C. mus* a alimentarse de sus flores, posándose sobre el cáliz desde donde se observó libando néctar.

Además las flores de *Glandularia* var. Alba INTA atrajeron principalmente a vaquitas depredadoras y en menor proporción a una especie herbívora como es *D. speciosa* al igual que lo observado para el aliso. Como visitante floral del orden Lepidoptera se registró a la mariposa *Vanessa carye* (“vanesa”) de la familia Nymphalidae considerada una activa polinizadora de estas flores.

b - Género *Nierembergia* variedades Estrella INTA-Jaica y Cielo INTA

El género *Nierembergia* corresponde a la familia Solanaceae y está representado por 20 especies neotropicales distribuidas en Sudamérica y una en México (Cocucci, 1995). En Argentina habitan 15 especies en zonas subtropicales desde el nivel del mar hasta la alta montaña (Cocucci, 1995; Zuloaga, 1999). Se trata de hierbas erguidas o postradas, arbustos de hasta 3 m de altura. Presentan flores solitarias o en cimas laxas. Con corola hipocraterimorfa, que hace referencia a una corola simpétala de tubo largo que termina en un limbo patente. Las

variedades ornamentales que se estudiaron como posibles “plantas insectario” fueron Estrella INTA-Jaica y Cielo INTA (**Foto 5**). En cuanto a la primera presenta un porte erecto, con una altura media de 10 a 15 cm en maceta y 20 cm en campo, la flor tiene una mancha definida de color violeta con el centro amarillo que ocupa la mitad de la misma, la cual forma una figura de estrella, mientras que la variedad Cielo INTA tiene una corola azul violácea de color homogéneo, sin mácula. Su porte es erecto, alcanzando una altura en macetas de 25 cm y en cantero de 40 cm (Soto y Coviella, 2013).

Visitantes florales

Para el género *Nierembergia* los visitantes florales estuvieron representados por el orden Hymenoptera con un marcado predominio de abejas nativas (Fam. Apidae) (**Tabla 2**). Ambas variedades fueron visitadas especialmente por abejas medianas como *Lanthanomelissa clementis* (Foto 2f) y abejas de medianas a grandes como *Caenonomada bruneri*. Se trata de abejas solitarias que nidifican en el suelo, pero también en orificios de madera. Ambas especies de abeja tienen como característica funcional una lengua larga, lo que las convierte en visitantes florales especialistas (Nates-Parra, 2006). En menor proporción las flores de las variedades del género *Nierembergia* fueron visitadas por “abejas metálicas” (Fam. Halictidae), avispas (Fam. Vespidae) y representantes de la Serie Parasítica, a los que corresponden las avispidas parasitoides.

c - Género *Mecardonia* variedades Poty Amarilla INTA y Guaraní Amarilla INTA

El Argentina se han descrito cinco especies nativas correspondientes al género *Mecardonia* (Familia: Plantaginaceae). Estas plantas presentan flores axilares solitarias, amarillas o blanquecinas cuya corola posee un limbo brevemente bilabiado y estrías rosadas (Zuloaga y Morrone, 1999). Hasta el momento existen dos variedades comerciales denominadas Poty Amarilla INTA y Guaraní Amarilla INTA

Orden	Familia	Gremio	Géneros y variedades ornamentales							
			Género Glandularia		Género Nierembergia		Género Mecardonia		Género Calibrachoa	
			var. Alba	var. Hana Magenta	var. Cielo	var. Estrella	var. Poty Amarilla	var. Guarani Amarilla	var. Overá Fucsia	var. Pampa Salmón
Hymenoptera	Apidae	P			X	X	X	X	X	
	Andrenidae	P							X	X
	Halictidae	P	X		X	X	X	X		
	Vespidae	P	X		X	X	X	X		
	Sphecidae	Pre	X							
	Chalcididae	Pa	X							
	Formicidae		X							
Diptera	Syrphidae	P/ Pre	X	X						
	Tachinidae	Pa	X							
Hemiptera	Miridae	Pre	X						X	X
	Reduviidae	Pre							X	X
Coleoptera	Coccinellidae	Pre	X							
	Chrysomelidae	H	X							
Lepidoptera	Nymphalidae	P	X	X						

Tabla 2 - Visitantes florales de las variedades comerciales de los géneros *Glandularia*, *Nierembergia*, *Mecardonia* y *Calibrachoa* obtenidas por INTA a partir de germoplasma nativo.

P: polinizador; Pre: depredador; H: herbívoro

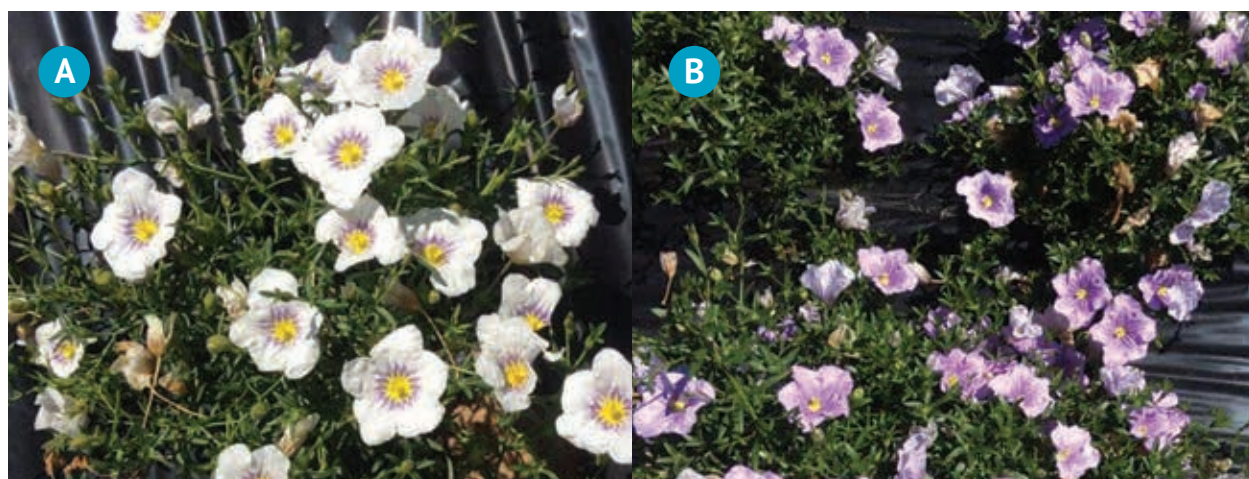


Foto 5. Plantas del género *Nierembergia* variedades Estrella INTA-Jaica (A) y Cielo INTA (B).

con características apreciablemente diferentes en cuanto al hábito de crecimiento y el tamaño de sus flores, siendo de color amarillo en las dos variedades (**Foto 6**). La variedad Poty Amarilla INTA presenta porte decumbente generando una mata rastrera con flores pequeñas de 1 cm de diámetro, mientras que la variedad Guaraní Amarilla INTA presenta un porte erguido, formando pequeñas matas compactas con flores de mayor tamaño que la anterior (1,7 cm de diámetro) (Greppi y Coviella, 2013)

Visitantes florales

Los visitantes florales del género *Mecardonia*, estuvieron representados solamente por el orden Hymenoptera y dentro de éste principalmente atrajo a polinizadores entre los que destacó la abeja melífera (*A. mellifera*) (**Tabla 2**). Esta especie fue especialmente atraída por la variedad Guaraní Amarilla INTA ya que el tamaño de sus flores les permiten a que ingrese dentro de la misma para alcanzar sus nectarios y desde allí alimentarse (**Foto 2g**). En menor proporción las flores de éste género fueron visitados por “abejas metálicas” (Fam. Halictidae), “avispas” (Fam. Vespidae) e individuos de la familia Mymaridae, aún no identificados.

d - Género *Calibrachoa* variedades Pampa Salmón INTA y Overá Fucsia INTA

Calibrachoa es un género americano de la familia Solanaceae, que presenta una distribución predominantemente subtropical atlántica. Se distingue por el hábito subarborescente, menos frecuentemente herbáceo, corola infundibuliforme y zigomorfa (Greppi et al. 2013). Las variedades ornamentales que se evaluaron como “planta insectario” fueron Pampa Salmón INTA y Overá Fucsia INTA (**Foto 7**). La primera se caracteriza por presentar un porte semirrecto y como lo indica su nombre posee flores de color salmón. Para florecer requiere un fotoperíodo largo y alta irradiación, lo que hace que su floración sea más tardía (fines de primavera-principio de verano) que la variedad Overá Fucsia INTA que sólo requie-

re temperatura pero es independiente del fotoperíodo para florecer. Además de lo indicado, ésta última variedad presenta flores de color fucsia y porte erecto. Ambas variedades se adaptan bien para su uso en canteros o borduras y desarrollan mejor en suelos ácidos, siendo la variedad Overá Fucsia INTA más exigente a esta condición (pH 5,5-6,5).

Visitantes florales

Los visitantes florales de *Calibrachoa* var. Overá Fucsia fueron individuos del orden Hymenoptera (**Foto 2h**) tales como las especies *Callonychium* sp. (Fam. Andrenidae) y la familia *Ancyloscelis* sp. (Fam. Apidae) (**Tabla 2**). Además sobre las flores de ambas variedades se observaron chinches depredadoras pertenecientes a las familias Miridae y Reduviidae (Orden Hemiptera) aunque aún no se ha identificado a estos grupos a nivel de especies. Los míridos registrados en las flores se los observó haciendo un control efectivo de los trips presentes en las mismas por lo que se continuará estudiando en profundidad esta relación de depredación.

Avances en el rediseño de invernaderos con la incorporación de “plantas insectario”

En el período 2015-2017 se evaluó la incorporación de franjas de aliso (*Lobularia maritima*) a cultivos de lechuga agroecológica en invernadero. El trabajo se llevó a cabo en el Módulo Hortícola de la E.E.A. INTA Concordia como parte de una estrategia de Control Biológico por Conservación dentro del Manejo Integrado de Plagas Agroecológico.

a - Estructura del invernadero y preparación del suelo previo a la siembra

Para este estudio se contó con un invernadero de 300 m² (10 x 30 m) de formato túnel alto, constituido por una estructura metálica cubierta por polietileno, que cuenta con riego por goteo y posibilidad de realizar fertirrigación.



Foto 6. Plantas del género *Mecardonia* variedades Poty Amarilla INTA (A) y Guaraní Amarilla INTA (B).



Foto 7. Plantas del género *Calibrachoa* variedades Pampa Salmón INTA (A) y Overá Fucsia INTA (B).

El suelo del invernadero se desinfectó durante cada verano con la técnica de biosolarización. Antes de comenzar a realizar esta práctica se había detectado la presencia de géneros de nemátodos fitopatógenos como *Meloidogyne* (formador de nódulos), *Macroposthonia* (no formador de nódulos, plaga potencial para frutilla), *Hemicycliophora* (no formador de nódulos, plaga potencial para lechuga) y de nemátodos depredadores pertenecientes a las familias Rhabditidae y Mononchidae presentes naturalmente en el suelo (Mousqués, 2008). En el año 2010 se inició la práctica de biosolarización en dicho invernadero, registrándose en el primer año

de realización de esta práctica una disminución significativa de la incidencia de daños por *Meloidogyne sp.* en un cultivo de acelga comparado con el invernadero testigo sin biosolarizar (Rosenbaum y Castresana, 2015). A partir de ese momento esta práctica se realizó anualmente desde mediados de diciembre-febrero, permaneciendo el invernadero un mínimo de 40 días cerrado con el fin de mantener a las especies fitopatógenas en una densidad inferior a la que causan daños a los cultivos implantados y para fomentar el aumento de las poblaciones de los depredadores ya presentes en el suelo. Es de destacar que durante el período estival

debido a las altas temperaturas que se registran en la zona no se realizan cultivos protegidos, por lo que la realización de ésta práctica no afecta económicamente a los horticultores locales.

Una vez finalizada la biosolarización se comenzó a preparar el suelo con un rotocultivador adicionando cama de pollo previo al trasplante, tal como se realiza habitualmente en la zona.

b - Preparación y manejo de la franja floral de aliso acompañante al cultivo de lechuga

Para obtener las franjas florales, se inició con la siembra de semillas de aliso en bandejas de 72 celdas (10-15 semillas/celda) en enero/febrero de 2015-2016 y la planta obtenida en cada celda se consideró un plantín. Los mismos fueron trasplantadas (marzo) en ambos laterales en el interior del invernadero (26

m de longitud) a 0,50 m de distancia sobre el lateral Sur y a 1 m sobre el lateral Norte (**Foto 8**).

Para los cultivos de lechuga que acompañaron a las franjas florales se utilizó la var. "Gizelle" (Ensa Zadem®) con la que se realizaron plantines en bandejas de 200 celdas y al cabo de un mes se trasplantaron en 4 camellones de 1m de ancho y 26 m de longitud estableciéndose 3 filas de plantas al tresbolillo separadas a 25 cm entre filas y entre plantas (**Foto 8**).

Durante la etapa de plantinero el aliso y la lechuga se fertilizaron con humus de lombriz líquido y en la etapa de trasplante-cosecha se utilizó Nutrire (Bioagro) como fertilizante foliar. Ante la presencia de enfermedades se utilizó *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*.

Como insecticidas biológico se utilizó *Bacillus thuringiensis var. kurstaki* cuando se tuvieron que



Foto 8. Vista de las franjas florales de aliso (laterales) y de lechuga agroecológica a cosecha (Módulo Hortícola E.E.A. INTA Concordia)

controlar orugas de lepidópteros en aliso y lechuga y Spinosad para el control de trips.

c - Evaluación de plagas y enemigos naturales en aliso y lechuga

Cuando los plantines de aliso comenzaron a florecer (marzo/abril) se registró el número de flores presentes y se hicieron observaciones de visitas de sus visitantes florales durante 2 minutos. Se evaluaron 10 alisos por semana tomados al azar sobre cada uno de los laterales del invernadero. A partir de que las plantas florales formaron una franja completa, se evaluó la presencia de los visitantes florales durante 2 minutos en una superficie de 1 m² que se estableció usando un marco de alambre. En cada lateral se tomaron 4 repeticiones y la frecuencia de muestreo fue semanal. Los artrópodos encontrados fueron identificados a nivel de familia y fueron clasificados de acuerdo al grupo funcional.

En forma paralela a las observaciones sobre los alisos, se realizaron muestreos semanales sobre 40 plantas de lechuga (muestreos directos) para determinar la abundancia poblacional de las principales plagas (trips, pulgones y lepidópteros) y a cosecha se realizó un muestreo destructivo. Además se re-

gistró la abundancia de enemigos naturales para relacionarlo con los presentes en las bandas florales.

Estas observaciones permitieron establecer los principales visitantes florales del aliso y su relación con las plagas colonizantes del cultivo de lechuga a lo largo del otoño, invierno y primavera. En la **Tabla 1** pueden observarse los insectos visitantes florales del aliso y de ellos cuales fueron los que efectivamente colonizaron las plantas de lechuga.

En la misma se destacan a los sírfidos (Fam. Syrphidae), a las vaquitas (Fam. Coccinellidae) y a la “chinche pirata” *Orius sp.* (Fam. Anthocoridae).

Con respecto a los sírfidos, si bien se determinaron 5 especies pertenecientes a la familia Syrphinae (ver aliso) que son depredadoras de insectos de cuerpo blando, sólo las larvas de las dos especies del género *Toxomerus*, *T. duplicatus* y *T. watsonii* se las observó consumiendo al “pulgón de la cerraja” *Uroleucon sonchi*, siendo ésta una plaga clave colonizante de lechuga en la zona de estudio (**Foto 9**). Las larvas del género *Toxomerus* son de color crema pero es posible observar en el aparato gatrointestinal la presa de la que se están alimentado (Bugg et al., 2008), tal como puede apreciarse en la **Foto 9**. En el año 2016 se registró un 25% de plantas de lechuga a cosecha con al menos una larva de éstos sírfidos, mientras que en 2016 ese valor alcanzó el



Foto 9. Adulto sírfido *Toxomerus sp.* sobre aliso (A) y su larva alimentándose del pulgón *Uroleucon sonchi* en lechuga (B).

52% registrándose en esas plantas la ausencia de pulgones o un número muy reducido de ellos, con respecto a las plantas donde estaba ausente este enemigo natural.

En cuanto a la familia Coccinellidae las especies *Eriopis conexa* y *Cycloneda sanguinea* fueron tanto registradas como visitantes florales de aliso como colonizantes de las plantas de lechuga. La presencia de *Orius sp.* como visitante floral del aliso se observó principalmente a comienzos del otoño, pero su población no alcanzó a controlar las altas poblaciones del trips *Caliothrips phaseoli* que se registran en las plántulas de lechuga recién trasplantadas durante esa época del año obligando a realizar un tratamiento curativo con el insecticida Spinosad.

En primavera se registraron varias especies de lepidópteros (mariposas), algunas de las cuales se encontraron alimentándose de las flores de aliso y luego sus larvas fueron colonizantes de las plantas de lechuga como las especies defoliadoras *Spodoptera frugiperda* y *Crysoideixis includens* para las que hubo que utilizar en alguna ocasión *Bacillus thuringiensis* para su control. Éste es un aspecto negativo que puede proporcionar la adición de esta especie floral al proveer néctar para los adultos de estas especies plaga en lechuga.

Además de los visitantes florales, cabe destacar a las arañas ya que para ellas, la bordura de aliso actuó como refugio por ser éste un cultivo más estable en el tiempo y espacio con respecto a la lechuga. Este hecho hizo que se encontrara una gran diversidad y abundancia de arañas en las plantas de lechuga sobre las que ejercieron su acción depredadora sobre las plagas.

d - Dinámica espacio-temporal de plagas y sírfidos en lechuga asociada con aliso

Estudios realizados previamente han demostrado que la abundancia y distribución espacial de un depredador y su presa están ligados y se retroalimentan mutuamente debido a que la distribución espacial de la presa determina la localización y la eficiencia alimenticia de su depredador, mien-

tras que éste altera la distribución de la presa al ocasionar una reducción local de su abundancia (Bonmarco et al., 2007). Para determinar estas relaciones se analizó la dinámica espacio-temporal de plagas y las larvas de sírfidos utilizando los datos de los muestreos realizados en la asociación lechuga-aliso durante la primavera en 2015. El análisis de la distribución espacial se realizó con la metodología SADIE (Spatial Analysis Distance Indices) que permite calcular índices de agregación (Ia) en datos referenciados en dos coordenadas (x,y), considerando que existe agregación cuando el $Ia > 1,5$ y el valor de probabilidad asociado $Pa < 0,05$ (Perry et al., 1999). Para determinar la asociación espacial entre los grupos de plagas y las larvas de sírfidos se utilizó en mismo programa SADIE modificado por Perry y Dixon (2002) que permite calcular y graficar un índice de asociación local (en cada unidad de muestreo) (x_i) que se presenta graficado en un mapa y índice global (X) con su valor de probabilidad asociado ($P < 0,025$ indica asociación altamente significativa).

Las plagas colonizantes del cultivo de lechuga en la primavera de 2015 fueron el trips *Caliothrips phaseoli*, dos especies de pulgones *Uroleucon sonchi* y *Macrosiphum euphorbiae* siendo la primera la más abundante, y orugas defoliadoras de la especie *Crysoideixis includens* (Tabla 1).

Los resultados mostraron que los pulgones comenzaron a formar colonias sobre el cultivo a los 23 días después del trasplante con una densidad de $0,1 \pm 0,10$ pulgón/planta alcanzando a cosecha $10,34 \pm 1,07$ pulgones/planta manteniendo un patrón de distribución al azar en todas las fechas de muestreo ($Ia=0,793$, $Pa= 0,7319$; $Ia= 1,135$, $Pa= 0,2571$; $Ia= 0,982$, $Pa= 0,982$) indicando una amplia colonización de plantas de lechuga a cosecha. Con respecto a la población de trips se observó una incipiente agregación en la semana posterior al trasplante de la lechuga ($Ia=1,526$, $Pa= 0,0609$) y en las fechas posteriores un comportamiento similar a los pulgones, es decir la población se distribuyó al azar dentro del invernadero ($Ia= 1,029$, $Pa=0,3569$; $Ia=0,860$, $Pa=0,6047$; $Ia=1,420$, $Pa=0,1006$) y no se

detectó asociación espacial con las larvas de sírfidos ($X=0,0526, P=0,29$).

Las larvas de lepidópteros fueron las que presentaron focos de agregación que desde el inicio de la colonización tal como lo demuestran sus valores de Ia (>1) y Pa ($<0,05$). A cosecha se pueden observar focos bien definidos en el cuadrante SE y NE del cultivo (**Fig. 1a**).

Debido a la dificultad de contabilizar las larvas de sírfidos sobre las plantas de lechuga sólo se muestra el análisis espacial de la fecha de cosecha en la que puede apreciarse una distribución al azar ($Ia < 1, Pa \approx 1$). En este estudio se presentaron sólo

unos pequeños focos de asociación espacial entre los pulgones y las larvas de sírfidos ($X=0,04, P=0,37$). La disociación espacial entre las poblaciones de pulgones y las larvas de sírfidos (**Fig. 1b**) puede explicarse porque como se indicó anteriormente *Toxomerus* fue el único género colonizante de lechuga y según se ha determinado en otros estudios las especies este género muestran gran afinidad con el cultivo de lechuga y tienen la habilidad de colocar huevos en plantas con baja densidad de pulgones (Bugg et al, 2008), lo que representa una posibilidad de disminuir las poblaciones de esta plaga cuando comienzan a colonizar el cultivo. Una disociación

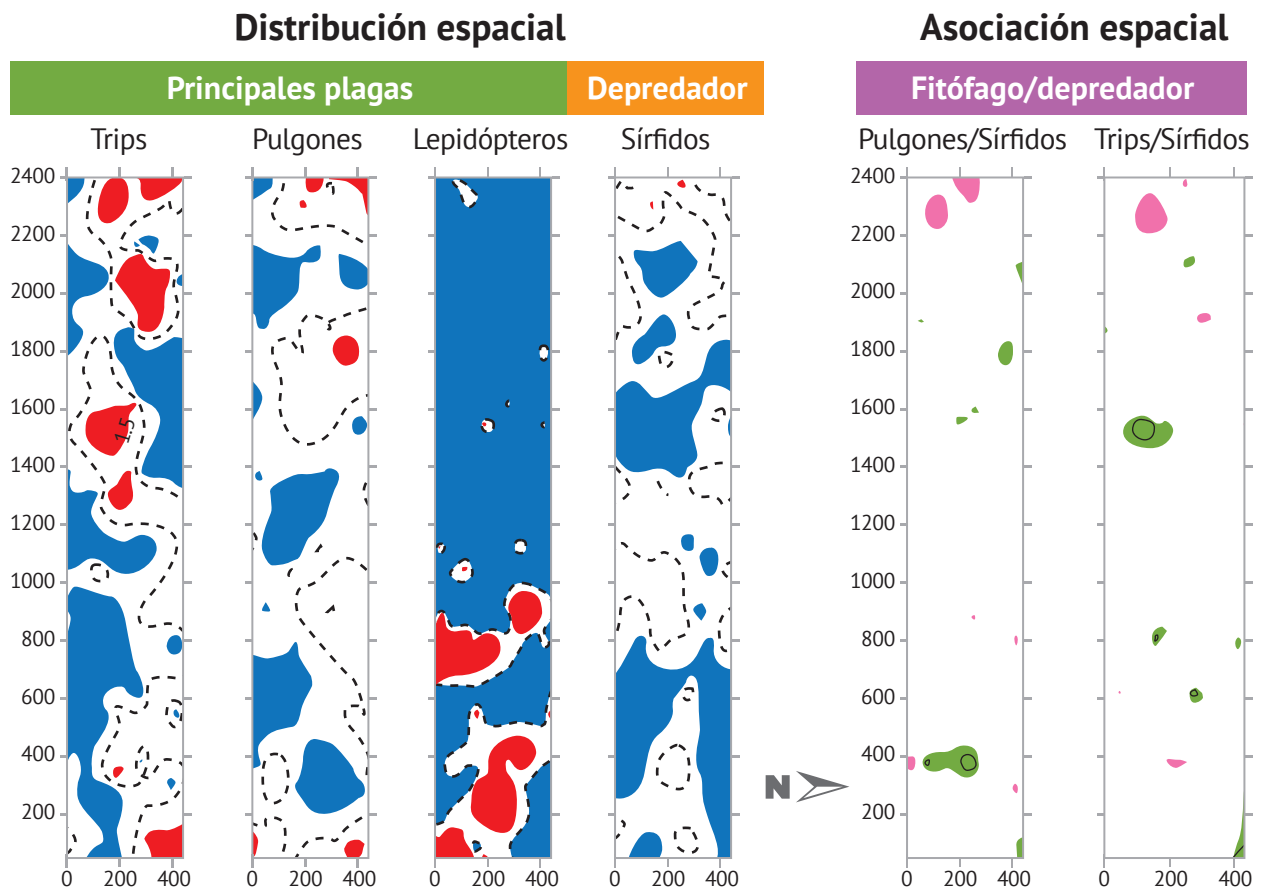


Figura 1A. Mapas de distribución espacial de las plagas y larvas de sírfidos a cosecha de lechuga en invernadero. Las áreas de color rojo representan focos de agregación ("patch") ($V_i > 1,5$), las azules huecos ("gaps") ($V_j < -1,5$) y las blancas áreas de distribución al azar.

1B. Mapas de asociación espacial entre plagas y larvas de sírfidos. El área rosada indica asociación, la verde disociación espacial y la blanca distribución al azar.

similar a la expuesta fue observada para los trips y las larvas de sírfidos ($X=0,05$, $P= 0,29$), mostrando una dominante distribución al azar que es congruente con la distribución de la plaga (**Fig. 1b**).

CONCLUSIONES

La evaluación de “plantas insectario” exóticas y nativas en los sistemas hortícolas del nordeste de Entre Ríos han permitido evaluar cuáles son los enemigos naturales y polinizadores que se alimentan de ellas a los sistemas de producción hortícola proveen alimento. También se ha comprobado que de la diversidad de insectos que se determinaron como visitantes florales sólo algunos contribuyen efectivamente al control biológico de las principales plagas hortícolas. En cuanto al aliso se determinó que mantuvo una floración constante a lo largo del año, otorgó recursos de polen y néctar así como refugio para sostener poblaciones de enemigos naturales, principalmente sírfidos y arañas que contribuyeron a disminuir las poblaciones de plagas sobre el cultivo de lechuga. Como aspecto negativo debe mencionarse que las flores de alisos proveen alimento para lepidópteros y trips que pueden causar daño sobre los cultivos acompañantes. Sin embargo, asociado a los trips se registró en las flores de aliso, la presencia de la chinche pirata *Orius sp.* alimentándose de estos insectos plagas. Con respecto a los lepidópteros hay que tener en cuenta que el aliso pertenece a la familia de las Brassicaceas y por lo tanto no se recomendaría como planta acompañante de cultivos de la misma familia botánica como es la rúcula o repollos, etc. por compartir la plaga clave de esta familia botánica como es la especie *Plutella xylostella* que no afecta a lechuga. Se recomienda realizar un monitoreo de las plagas semanalmente, tanto de la franja floral como de la lechuga para evaluar el comportamiento de esta asociación.

Los resultados preliminares obtenidos con las plantas ornamentales obtenidas a partir de germoplasma nativo abren nuevas posibilidades para

seleccionar aquellas como nuevas plantas candidatas a ser incorporadas en sistemas productivos. Considerar la implementación de esta práctica con plantas nativas puede tener varias ventajas sobre las exóticas ya que se suponen adaptadas al clima y suelos locales y han coevolucionado además con la fauna nativa. Por otra parte la promoción de las plantas ornamentales nativas a nivel local puede generar interés para incorporar su cultivo en viveros ya existentes o promover nuevos emprendimientos locales.

Para seguir avanzando con estos estudios es necesario construir sólidas relaciones entre los investigadores y los productores como adoptantes de esta tecnología innovadora para contribuir al manejo de plagas ecológico y al resideño de sistemas de producción compatibles con la agroecología.

AGRADECIMIENTOS

Al Biol. Pablo Cavigliasso por la identificación de abejas, a la Dra. Noelia Maza por la identificación de sírfidos y al Dr. Daniel Aquino por la identificación de parasitoides. Al personal de apoyo del Módulo Hortícola EEA Concordia, Mario Vergara, Iván Villagra y Héctor López.

Al financiamiento otorgado a la becaria María A. Martínez a través del programa de becas CONICET-INTA. Al financiamiento recibido por la Red de Agroecología (REDAE-INTA) y los proyectos de INTA, PreT 1263305 y PNHFA 1106082.

REFERENCIAS

- Altieri, M. 1995. Agroecology: the science of sustainable agriculture, 2nd Edition. Westview Press, Boulder.
- Altieri, M., Nicholls, C., Fritz, M. 2014. Manage insects on your farm: A guide of ecological strategies. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) Handbook. Series. Book N° 7. College park, MD. 135 p.
- Barzman, M., Bárberi, P., Birch, A.N.E., Boonekamp, P.; Dachbroadt-Saayydeh, S.; Graf, B.; Hommel, b.; Jensen, J.E.; Kiss, J.; Kudsk, P., Lamichlane, J.R., Messéua, A., Moonen, A.C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.L., Sattin, M. 2015. Eight principles of integrated pest management. Agron. Sustain. Dev. 17 p.
- Bianchi, F.J.J.A., Wäckers, F.L. 2008. Effects of flower attractiveness and néctar availability in field margins on biological control by parasitoids. Biological Control 46: 400-408.
- Björkman, T., R., Bellinder, R. Hahn, Shail, J.W.. 2008. Buckwheat cover crop handbook. Cornell University. 20 p. <http://www.hort.cornell.edu/bjorkman/lab/covercrops/pdf/bwbrochure.pdf>
- Bologna, P. 2015. Manual de Cultivo de variedades de *Glandularia* para productores. INTA. Instituto de Floricultura. JICA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Presidencia de la Nación. <http://inta.gob.ar/documentos/manual-de-cultivo-de-variedades-inta-de-glandularia-para-productores>.
- Bologna P., Facciuto, G.R. 2017. Variedad Hana Magenta INTA. <https://inta.gob.ar/variedades/hana-magenta-inta>.
- Bommarco, R., Firle, S.O., Ekbom, B. 2007. Outbreak suppression by predators depends on spatial distribution of prey. Ecological Modelling 201: 173-180.
- Brennan, E.B. 2013. Agronomic aspects of strip intercropping lettuce with alyssum for biological control of aphids. Biological Control, 65: 302-311.
- Bugg, R.L., Colfer, W.E., Smith, .A., Cannon, J. 2008. Flower flies (Syrphidae) and other biological control agents for aphids in vegetable crops. UC Peer Reviewed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 8285.
- Castresana, J.E., Diaz, B.M., Mousqués, J.A., Rosenbaum, J. 2017a. Técnicas de bajo impacto ambiental para la producción de cultivos hortícolas. E.E.A. INTA Concordia <https://inta.gob.ar/documentos/tecnicas-de-bajo-impacto-ambiental-para-el-manejo-de-cultivos-hortícolas>
- Castresana, J.E., Puhl, L. 2017b. Estudio comparativo de diferentes trampas de luz (LEDs) con energía solar para la captura masiva de adultos polilla del tomate Tuta absoluta en invernaderos de tomate en la Provincia de Entre Ríos, Argentina. IDESIA, 87-95. <https://inta.gob.ar/documentos/estudio-de-diferentes-trampas-de-luz-leds-para-la-captura-masiva-de-adultos-polilla-del-tomate-bajo-cubierta>
- Castresana, J., Rosenbaum, J., Gagliano, E. 2017c. Transición del manejo de plagas convencional hacia el agroecológico mediante la transferencia de técnicas de control integrado de plagas en tomate bajo cubierta en Concordia en la Provincia de Entre Ríos. E.E.A. INTA Concordia. <https://inta.gob.ar/documentos/transicion-del-manejo-de-plagas-convencional-hacia-el-agroecologico>
- Cocucci A. A., Hunziker A T. 1995. Flora Fanerógamica Argentina. Córdoba: Pugliese Siena S.R.L

- Dalmazzo, M., González Vaquero, R. A., Roig Alsina, A., Debandi, G. 2014. Halictidae. En: Roig-Juñent, S., Claps, L.E. & Morrone, J.J. (Eds.), Biodiversidad de Artrópodos Argentinos. Vol. 4. Editorial INSUE –UNT, San Miguel de Tucumán, Argentina, pp. 203–219.
- Deguine, J.P., Ferron, P., Russell, D. 2008. Protection des cultures: de l'agrochimie à l'agroécologie. Quae, Versailles.
- Diaz, B.M., Maza, N., Cavigliasso, P. 2016. Aportes del aliso (*Lobularia maritima*) al control biológico de plagas en la producción de lechuga agroecológica protegida en Concordia, Entre Ríos. 39º Congreso Argentino de Entomología. Santa Fé, 26 al 28 de septiembre de 2016. pp. 112.
- Diaz, B.M., Moreno, M. M., Delprino, M.R., Cuellas, M., Trupiano, S., D'Angencola, E. 2017a. Aplicación del Sistema de Evaluación Ponderada de Impacto Ambiental (SEPIA) en sistemas hortícolas de Concordia, Entre Ríos. I Encuentro Nacional "Periurbanos hacia el consenso". Córdoba, 12 al 14 de septiembre de 2017.
- Diaz, B.M., Maza, N. 2017b. Dinámica espacio-temporal de insectos plaga y sírfidos en lechuga agroecológica asociada con aliso (*Lobularia maritima*) VI Congreso Internacional Agroecología, Brasilia del 12 al 15 de septiembre de 2017.
- Diaz, M. B., Martínez, M. A., Cavigliasso, P. 2018. Evaluación del trigo sarraceno (*Fagopirum esculentum*) como "planta insectario" en la horticultura agroecológica. X Congreso Argentino de Entomología. Mendoza, 21 al 24 de mayo 2018. p. 237.
- Elisei, T., Vaz e Nunes, J. Ribeiro C. J., Fernandes A. J. J. y Prezoto, F. 2010. Uso da vespa social *Polistes versicolor* no controle de desfolhadores de eucalipto. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 45: 958-964.
- Fernández, F., Palacio, E. E. 2006. Familia Formicidae. In: Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical. (Fernández, F. y Sharkey, M. J. eds.). Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C. pp. 521-556.
- Fiedler A. K. and Landis D. A. 2007. Attractiveness of Michigan Native Plants to Arthropod Natural Enemies and Herbivores. Environmental Entomology 36: 751-65.
- González, V. H. 2006. Familia Andrenidae In: Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical. (Fernández, F. y Sharkey, M. J., eds.). Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C. pp. 475-478.
- Greppi, J.A., Coviella, M.A. 2013. Manual de Cultivo de variedades INTA de *Mecardonia* para productores. INTA. Instituto de Floricultura. JICA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Presidencia de la Nación. <http://inta.gov.ar/documentos/manual-de-cultivo-de-variedades-inta-de-mecardonia-para-productores>.
- Greppi, J. A., J. C. Hagiwara, Stehmann, J. R. 2013. Novedades en *Calibrachoa* (Solanaceae) y notas taxonómicas sobre el género para la Argentina. Darwiniana, nueva serie 1: 173-187.
- Hagiwara, J.C, Pannunzio, M.J. 2015. Manual de cultivo de variedades de *Calibrachoa* para productores. INTA. Instituto de Floricultura. JICA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Presidencia de la Nación. <http://inta.gov.ar/documentos/manual-de-cultivo-de-variedades-inta-de-calibrachoa-para-productores>
- Hernández, J. D. Sarmiento, C. E. y Fernández C.H. 2009. Actividad de forrajeo de *Polybia occidentalis* venezolana (Hymenoptera, Vespidae) Revista Colombiana de Entomología 35 (2): 230-234.

- INTA Informa Impreso 2017. Flores que generan equidad. Boletín INTA Informa, año XV, abril 2017. http://intainforma.inta.gov.ar/wp-content/uploads/2012/07/PUBINTAINF2017_015N171_Abril_v4_imagenes_incrustadas.pdf
- Jervis, M.A., Kidd, N.A.C., Fitton, M.G., Huddleston, T., Dawah, H.A. 1993. Flower-visiting by hymenopteran parasitoids. *Journal of Natural History* 27: 67–105.
- Josens, R. B. 2000. Recolección de néctar en la hormiga *Camponotus mus*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3222_Josens.pdf
- Kusnezov, N. 1963. Zoogeografía de las hormigas de Sud América. *Acta Zoológica Lilloana* 19: 25-186.
- Landis, D.A., Wratten, S.D., Gurr, G.M. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45, 175–201.
- Landis, D.A. 2017. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology* 18: 1-12.
- Lescourret, F., Poncet, C., Simon, S. 2016. Insights into the ecological control of pests in horticulture. *Acta Hort.* 1137. Proceedings International Symposium on Innovation in Integrate and Organic Horticulture. pp. 91-103.
- López Y.G., Hernández J.D,y Caraballo. P. 2013. Actividad de forrajeo de la avispa social *Polybia emaciata* (Hymenoptera: Vespidae: Polistinae). *Revista Colombiana de Entomología* 39: 250-25.
- Lu, Z.-X., Zhu, P.-Y., Gurr, G. M., Zheng, X.-S., Read, D. M. Y., Heong, K.-L., Yang, Y.-J., Xu, H.X. 2014. Mechanisms for flowering plants to benefit arthropod natural enemies of insect pests: Prospects for enhanced use in agriculture. *Insect Science* 21: 1–12.
- Martínez, M.A., Vesprini, J.L, Diaz, B.M. 2018. Visitantes florales asociados a variedades ornamentales de germoplasma nativo en el Noreste de Entre Ríos. Aceptado para su presentación en el X Congreso Argentino de Entomología a realizarse del 21 al 24 de mayo 2018.
- Martínez, S., S. Botta, Múlgura, M. E. 1996. Morfología de las inflorescencias en Verbenaceae, Verbenoideae I: Tribu Verbenae. *Darwiniana* 31: 1--17.
- Maza, N., Diaz, B.M. 2016. Sírfidos (Díptera: Syrphidae) asociados a la producción de lechuga agroecológica, nuevos registros para Entre Ríos, Argentina. 39º Congreso Argentino de Horticultura los días 26 al 28 de octubre en la ciudad de Santa Fe.
- Mitsunaga, T., Shimoda, T., Yano, E. 2004. Influence of food supply on longevity and parasitization ability of a larval endoparasitoid, *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae). *Applied Entomology and Zoology* 39: 691–697.
- Mousqués, J. 2008. Control de nemátodos en cultivo de tomate. Informe Técnico. Concordia INTA, Centro Regional Entre Ríos. E.E.A. 9p.
- Mousqués, J.A. 2016. Nuevas alternativas en el control de plagas y enfermedades en cultivos hortícolas. EEA INTA Concordia. 10 p. <https://inta.gob.ar/documentos/nuevas-alternativas-para-el-control-de-plagas-y-enfermedades-en-cultivos-hortícolas>
- Nicholls, C., Altieri, M. 2004. Agroecological bases of ecological engineering for pest management. *In Ecological engineering for pest management: advances in habitat manipulation for arthropods* (Gurr G.M., Wratten, S.D.; Altieri, M.A. eds.). CSIRO Publishing, Colingwood, pp. 33-54.

- Nates-Parra, G. 2006. Familia Apidae. En: Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical. (Fernández, F. y Sharkey, M. J. eds.) Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C. pp. 487-504.
- Pagliaricci, L.O.; Castresana, J.E.; Gagliano, E. E. 2017. Evaluación económica del cultivo de tomate bajo cubierta, campaña 2015/16. Estudio de caso de un productor hortícola diversificado en la localidad de Concordia, Entre Ríos. I Encuentro Nacional "Periurbanos hacia el consenso". Córdoba, 12 al 14 de septiembre de 2017. <https://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-economica-del-cultivo-de-tomate-bajo-cubierta-campana-2015-16>
- Parolin P., Bresch C., Poncet C., Desneux N. 2012. Functional characteristics of secondary plants for increased pest management. *International Journal of Pest Management* 58: 369-377.
- Peralta, P.F., Múlgura, M. E. 2011. El Género *Glandularia* (Vernaceae) en Argentina. *Annual Missouri Botanical Garden* 98: 358-412.
- Perry, J.N., Winder, L., Holand, J.M., Alston, R.D. 1999. Red-blue plots for clusters in count data. *Ecology Letters* 2: 106–113.
- Perry, J.N., Dixon, P.M., 2002. A new method to measure spatial association for ecological count data. *Ecoscience* 9: 133–141.
- Ratnadass Alain, Michellon Roger, Randriamanantsoa Richard, Séguy Lucien. 2006. Effects of soil and plant management on crop pests and diseases. In : *Biological approaches to sustainable soil systems*. (Uphoff Norman T., Ball Andrew S., Fernandes Erik C.M., Herren Hans R., Husson Olivier, Laing Mark V., Palm Cheryl, Pretty Jules Sanchez Pedro, Sanginga Nteranya, Thies Janice, eds.). Boca Raton : CRC Press, pp. 589-602.
- Rivero, A., Casas, J. 1999. Incorporating physiology into parasitoid behavioral ecology: the allocation of nutritional resources. *Researches on Population Ecology* 41: 39–45.
- Rodríguez, E., González, M. 2014. Vegetación autóctona y control biológico: diseñando una horticultura intensiva sostenible. Ficha de Transferencia 004. Fundación CAJAMAR. 14p. <http://www.fundacioncajamar.es/es/comun/transferencia/fichas-de-transferencia/ano-2014/vegetacion-autoctona-y-control-biologico-disenando-una-horticultura-intensiva-sostenible/>
- Rosenbaum, J., Castresana, J.E. 2015. Evaluación de la biosolarización en cultivo de acelga (*Beta vulgaris L. var. cicla*) bajo cubierta para el control de nematodos de suelo. Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología. La Plata, 7-9 de octubre 2015..
- Rosenbaum, J. 2017. Biosolarización para el control agroecológico de nemátodos y enfermedades del suelo. Ediciones INTA. ISSN 2250-527X. 2p. <https://inta.gob.ar/documentos/biosolarizacion-paso-a-paso>
- Schaeffer, J., Friedline, S. Caracterización funcional de abejas. División de Entomología Universidad Tecnológica de Michigan. Datos no publicados.
- Soto, S., Coviella, M.A. 2013. Manual de cultivo de variedades INTA de *Nierembergia* para productores. INTA. Instituto de Floricultura. JICA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Presidencia de la Nación. <http://inta.gob.ar/documentos/manual-de-cultivo-de-variedades-inta-de-nierembergia-para-productores>
- Tavares, M.T., Aquino, D.A. 2014. Chalcididae. *Biodiversidad de Artrópodos Argentinos. Vol. 4*. (Roig-Juñent, S., Claps, L.E. & Morrone, J.J., eds.). INSUE-UNT, San Miguel de Tucumán, Argentina, pp. 139–148.

- Zuloaga, F., Morrone, O. 1999. Catálogo de plantas vasculares de la Argentina. Missouri Botanical Garden Press. 1247 p.
- Wäckers, F. L., Van Rijn, P. C. J., Bruin, J. 2005. Plant-provided food for carnivorous insects: A Protective Mutualism and its Applications. Cambridge University Press, pp. 354.
- Walton, N.J., Isaacs, R. 2011. Influence of native flowering plant strips on natural enemies and herbivores in adjacent blueberry fields. *Environmental Entomology* 40: 697–705.
- Westphal, C., Vidal, S., Horgan, F.G., Gurr, G.M., Escalada, M., Van Chien, H., Tscharrntke, T., Heong, K.L.; Settele, J. 2015. Promoting multiple ecosystem services with flower strips and participatory approaches in rice production landscapes. *Basic and Applied Ecology*, 16: 681-689.
- Willink, A. 1998. Vespidae y Sphecidae. En: Biodiversidad de Artrópodos Argentinos: Una Perspectiva Biotaxonomica. Morrone, J.J. y Coscaron S. (eds.), Editorial SUR. La Plata. Bs.As. pp. 427- 444.

El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas

A partir del III Congreso SOCLA en México 2011 comenzamos a asistir a la Sociedad Latinoamericana de Agroecología, buscando puntos de encuentros con colegas de otros países y con el entusiasmo de que esta nueva disciplina pudiese anidar nuevos asuntos y cambios de paradigmas en grupos de investigación emergentes. Sucesivamente y luego en IV SOCLA Perú 2013, continuamos incrementado nuestra participación, llevando trabajos de proyectos institucionales que cada más vez reflejaban, la nueva orientación a seguir en función de las necesidades de incursionar en nuevos modelos de integración para la investigación clásica. Estos mostraban cada vez más tendencias en introducir otras concepciones epistemológicas, metodológicas, basadas en los principios de la agroecología, surgidas del consenso, la reflexión colectiva y la necesidad de consideración de un campo de conocimiento transdisciplinario. Estos aportes, cada vez más crecieron al recibir influencias de las ciencias agrarias, ciencias ambientales, biología, ecología y ciencias sociales. En 2015 fuimos en Argentina, sede en la Universidad Nacional de La Plata con importante apoyo de INTA, la base del V Congreso SOCLA, a él cual pudimos volcar más de 70 trabajos presentados y recorrer poster y resúmenes de trabajos de variadas escalas, abarcando tanto la problemática de pequeños productores familiares como otros en agricultura extensiva de mayor escala. En 2017 el VI SOCLA nos albergó en Brasilia en un enorme Congreso, a donde fuimos invitados institucionalmente a participar en sus sesiones y plenarios con el relato de investigaciones y experiencias. Pero cuando a fines de ese año vimos el llamado de SOCLA para la compilación de artículos para la edición especial de libros temáticos de varios/as co-autores/as en una propuesta de multi-autores/as, sobre temas relevantes en agroecología reflexionamos acerca de la importancia de este momento y lo que esta oportunidad significaba junto a SOCLA. Motivados por la selección de temas; aún poco profundizados o que requerían actualización y el desafío de sintetizar muchas ideas y trabajos del grupo de investigadores de la Red de Agroecología reflatamos ideas de Seminarios anteriores : El Suelo como Reactor,... ¿ porque no?. El Suelo como reactor siempre fue una idea inicial de colegas para expresar los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas en función de esta dimensión. De esta complementación surgieron su Introducción y diez Capítulos abarcadores que compartimos aquí con Uds y SOCLA, a quien agradecemos profundamente las vivencias de todos estos años.



Secretaría
de Agroindustria



Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación