



SISTEMAS PRODUCTIVOS SOSTENIBLES



SISTEMAS PRODUCTIVOS SOSTENIBLES

Coordinador: Dr. Emilio H. Satorre

Autores

Cristian Álvarez
José Andrade
Ariel Angeli
Joaquín Bello
María Clara Berton
Agustín Bilbao
Pía Bonamico
Lucas Burzaco
Laura Carabaca
Lucas Cazado
Octavio Caviglia
Romina Fernández
Santiago Gallo
Fernando García Frugoni
Lucas Garibaldi
Agustín Giorno
Dulce Gómez Carella
Leandro Granieri
Ileana Frasier
Santiago Levantini
Diego López
Vanesa Loza
Elke Noellemeyer

José Micheloud
Franco Permigeat
Priscila Pinto
Gervasio Piñeiro Guerra
Diego H. Pérez
Néstor Pérez Méndez
Fernando Míguez
Santiago Poggio
Ricardo Pozzi
Salvador Prieto Angueira
Alberto Quiroga
Juan Radrizzani
Sandro Raspo
Marcelo Rey
Adrian Rovea
Gabriel Saaby
Federico Sörenson
Gastón Therisod
Pablo Tiftonell
Doria Turchi
Javier Ventura
Ernesto Viglizzo
Sebastián Villarino

Acompañan éste proyecto:



Contenidos

1. Intensificación ecológica sostenible de la agricultura
2. Bases conceptuales para el manejo de agroecosistemas multifuncionales
3. Cultivos de servicios e intensificación
4. Importancia de las raíces sobre los procesos edáficos
5. Materia orgánica, cobertura y servicios ecosistémicos
6. Aspectos clave del manejo de cultivos de servicios
7. Manejo y beneficios ecofinancieros de los cultivos de servicios
8. Intensificación de rotaciones de cultivos extensivos
9. Los cultivos de servicios y el control de malezas tolerantes y resistentes
10. Intensificación de la agricultura y ganadería pastoril
11. Políticas para lograr una intensificación ecológica en la agricultura
12. Ecología y cultivos en los sistemas de producción CREA

Prólogo

Los sistemas de producción agrícola argentinos atraviesan, desde hace poco más de una década, los cambios más relevantes desde la difusión masiva de la siembra directa y la liberación de eventos de tolerancia a herbicidas y plagas producto de la biotecnología.

El modelo productivo simple, eficiente, efectivo, escalable y exitoso que tanto colaboró en el crecimiento de la producción nacional de granos de los últimos 25 años hoy enfrenta nuevos desafíos. A modo de ejemplo, vemos, por un lado, que las tecnologías pierden efectividad: aparecen malezas tolerantes a herbicidas y se produce el quiebre de la resistencia en eventos introducidos para controlar insectos. Por otra parte, crece la presión social en relación al cuidado del ambiente y de las personas, lo que determina la promulgación de regulaciones cada vez más estrictas en torno a diversas cuestiones ligadas al proceso productivo. Es hora de repensar nuestros sistemas; el impacto ambiental de las tecnologías y los modelos de producción genera un llamado de atención que conduce a la necesidad de un cambio.

Hasta el momento, todos los esfuerzos orientados a resolver los nuevos desafíos y sentar las bases para desarrollar una agricultura sostenible han sido aislados. Es difícil encontrar situaciones dónde se exploren aproximaciones integradas. Con frecuencia, la búsqueda y el análisis de soluciones a los viejos y nuevos problemas se apoyan en tecnologías individuales y aproximaciones simples. Sin embargo, la dinámica

de los sistemas de producción de nuestra agricultura ha sido analizada y discutida en distintos ámbitos del sector productivo, que involucran a universidades, empresas proveedoras de tecnología y al Movimiento CREA, entre otros actores. De hecho, para CREA, trabajar en la sostenibilidad de los sistemas de producción fue señalado en repetidas ocasiones como un eje central. Este manual es parte de ese trabajo; contiene las bases, experiencias y nuevas miradas que nos ayudarán a avanzar hacia la construcción de caminos productivos sostenibles.

Los primeros dos capítulos del presente manual constituyen un marco conceptual de referencia para entender el rol y el significado de la sostenibilidad para los sistemas de producción, las empresas y la sociedad. A su vez, en los capítulos 3 a 11 se avanza sobre distintos ejes para la construcción de sistemas sostenibles y se analizan las herramientas disponibles. En estos capítulos, el rol de la materia orgánica, las raíces de los cultivos y el diseño espacial y temporal de nuestros sistemas, que incluyen la intensificación, la utilización de cultivos de servicio y la integración con la ganadería, es analizado junto con aspectos de biodiversidad, uso de recursos y manejo de problemas (malezas).

Todos los temas son abordados de manera simple, tendiendo puentes entre la teoría y la práctica con experiencias concretas desarrolladas en distintos establecimientos productivos. Finalmente, en el último y extenso capítulo 12, se documenta la experiencia CREA en distintas regiones productivas. La abundancia de situaciones que allí se describen constituye, sin dudas, un reflejo de la importancia del tema que se aborda.

Este manual fue escrito por los mejores referentes nacionales en la temática, quienes ofrecen una robusta base teórica y un amplio universo de experiencia trasladable a situaciones de campo. De esta obra han participado investigadores de

las universidades de Buenos Aires, Río Negro y Mar del Plata, de CONICET e INTA Bariloche, Anguil y Balcarce, junto a productores y profesionales privados y del Movimiento CREA. A todos ellos queremos expresarle nuestra enorme gratitud. Han trabajado con gran compromiso y dedicación para atender los objetivos propuestos y los han cumplido con creces.

En los últimos años, desde el seno del Movimiento CREA, la Mesa de Planes Nacionales del Área de Agricultura buscó crear espacios de reflexión que permitiesen instalar, con una visión amplia, una línea de trabajo en pos de la sostenibilidad de los sistemas productivos. Este manual es, desde su concepción, fruto de esa tarea. Como tal, está alineado con las prioridades de CREA y orientado a analizar, capacitar y contribuir al desarrollo de procesos y tecnologías que aporten al diseño y la construcción del modelo productivo sostenible de los próximos años. Al conjugar las bases y las herramientas se convierte en un material único en la Argentina y en un aliado insustituible para los productores y técnicos deseosos de transitar el camino del crecimiento sostenible de nuestra agricultura.

Esperamos que disfruten su lectura, pero, especialmente, que encuentren en él la motivación y el entusiasmo que el camino de toda transformación siempre requiere.

■ **Emilio Satorre**

*Coordinador Académico del Área de Agricultura
Unidad de Investigación y Desarrollo de CREA*

1

Intensificación ecológica de la agricultura

Pablo Tittone

Grupo Interdisciplinario de Investigación y Extensión en Agroecología, Ambiente y Sistemas de Producción del Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Bariloche, INTA-Conicet.

Agroécologie et Intensification Durable, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Université de Montpellier.

Groningen Institute of Evolutionary Life Sciences, Groningen University, The Netherlands.

Frente a las amenazas ambientales, sociales e incluso sanitarias que plantea el siglo XXI es imperativo que la agricultura haga su mejor esfuerzo para conciliar los diversos objetivos de la humanidad, plasmados en la lista de Objetivos del Desarrollo Sostenible por la Organización de las Naciones Unidas, con el fin de lograr un equilibrio entre la producción y la disponibilidad de alimentos, el mantenimiento de los recursos, la biodiversidad y las formas de vida rurales.

Con este propósito, el modelo de intensificación agropecuaria necesario para alimentar a 9000 millones de personas en un futuro no muy lejano debería observar las siguientes premisas:

- Tener lugar en paisajes multifuncionales capaces de proporcionar una variedad de servicios ecosistémicos, los cuales son necesarios para todas las formas de vida en la tierra y para un desarrollo humano sostenible.
- Reducir el impacto ambiental de la producción de alimentos, particularmente en términos de la disrupción de los ciclos biogeoquímicos que contribuyen al calentamiento global y su dependencia respecto de recursos no renovables.
- Disminuir su contribución central a la pérdida de diversidad genética, que tiene lugar a través de la expansión de la frontera agrícola, la contaminación del aire, el suelo y el agua y la introducción de especies invasoras.
- Contribuir a la restauración de suelos y ecosistemas productivos para asegurar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades.
- Adaptarse al cambio global y construir resiliencia socioecológica para favorecer la sostenibilidad de los agroecosistemas.
- Contribuir a la seguridad alimentaria global. Garantizar el acceso a los alimentos, promover la estabilidad de su dispo-

nibilidad en el tiempo y mejorar su calidad nutricional, su inocuidad, bioseguridad y diversidad.

La intensificación ecológica de la agricultura se propone como un medio para alcanzar estas premisas. Esto implica combinar las diversas fuentes de conocimiento y las tecnologías disponibles de manera tal que los agricultores puedan hacer un uso intensivo e inteligente de las funcionalidades naturales que ofrecen los ecosistemas para producir alimentos y servicios ecosistémicos de manera sostenible, aportar a la seguridad alimentaria y la nutrición, restaurar la productividad de las tierras degradadas, y contribuir a la adaptación y la mitigación del cambio climático.

En las últimas dos décadas, los paisajes agropecuarios argentinos, en especial, los de la llanura chaco-pampeano-mesopotámica, han sufrido un deterioro acelerado en su estructura ecológica, en su base de recursos naturales y en su capacidad para proveer servicios ecosistémicos. No es necesario ahondar aquí en los problemas ambientales asociados a los modelos de producción dominantes en la región (malezas resistentes, inundaciones, erosión de suelos y “ríos nuevos”, desmonte descontrolado, pérdida de biodiversidad, contaminación puntual y difusa con agroquímicos¹ y fármacos, desaparición de los planteos mixtos, etcétera), sin embargo, este proceso ha generado un despoblamiento del territorio rural, una pérdida en el número de productores agropecuarios activos, una falta de incentivos económicos para la producción y un incremento en la edad promedio de los productores cercana a los 60 años, lo que indica un creciente desinterés en el sector por parte de los jóvenes. La necesidad de un cambio de paradigma productivo es cada vez más evidente.

¹ En general prefiero evitar el uso del término “agroquímico”, por cuanto incluye moléculas diseñadas como biocidas y otras moléculas que se utilizan para la nutrición de los cultivos, lo que genera un mensaje confuso.

Soluciones para nuestra comunidad

Desde Banco Galicia promovemos productos financieros a través de plataformas digitales para que nuestros clientes puedan acceder a soluciones innovadoras de inversión social y ambiental que generan una transformación y un impacto positivo en la comunidad.

Conocé más

Intensificación ecológica, sostenibilidad² y agroecología

En los años 2017 y 2018 el CGIAR (Consortio Internacional General para la Investigación en Agricultura, que nuclea a centros internacionales como el CIMMYT, el CIAT y el ILRI) se propuso un ejercicio de prospectiva orientado al rediseño de sus agendas de investigación hacia el año 2050. Durante este proceso fui invitado a contribuir con un capítulo sobre intensificación ecológica, y reproduzco aquí su definición:



La intensificación ecológica es un proceso de mejora gradual de la eficiencia ecológica de los sistemas agrícolas a través de innovaciones tecnológicas e institucionales, cuyo objetivo es utilizar las funcionalidades naturales que ofrecen los ecosistemas para promover una mayor productividad con menor impacto ambiental; mantener o mejorar la base de recursos naturales; reducir la dependencia de los recursos no renovables y favorecer la adaptabilidad, la resiliencia y la equidad social.



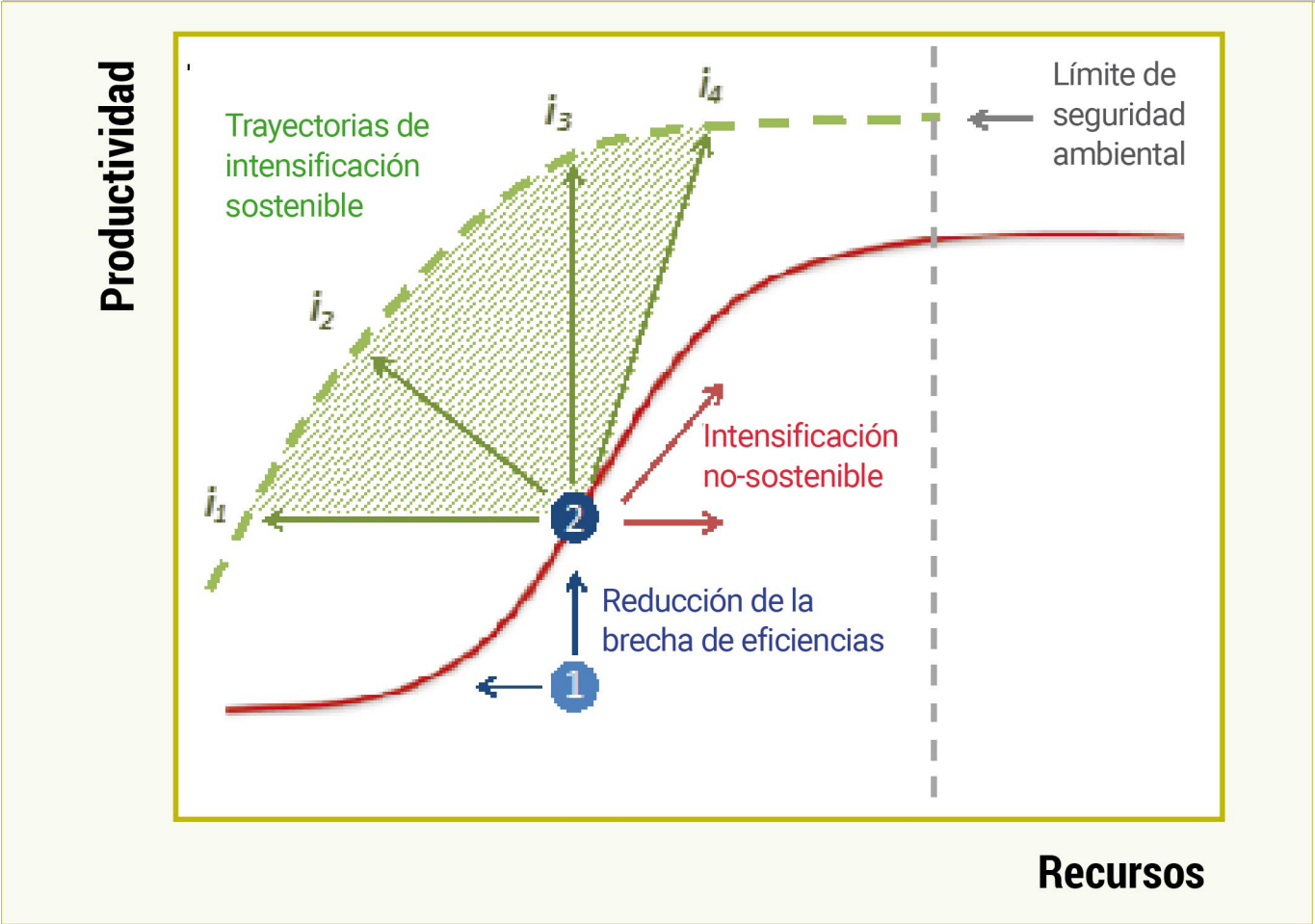
Paralelamente, los países miembro del Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agro Industrial del Cono Sur instauraron un proceso de reflexión para consensuar una definición del concepto de “intensificación sostenible” y sus implicancias para la agricultura de los respectivos países. La figura 1 busca ilustrarlo de manera simple. Como es sabido, la sostenibilidad comprende múltiples dimensiones: social, ecológica y económica, pero también temporal, política, etcétera. Sin embargo, si se lo reduce al ámbito más bien estrecho

²En un proceso regional sobre intensificación agropecuaria en el seno del PROCISUR se decidió que era más correcto hablar de sostenibilidad que de sustentabilidad cuando nos referimos a la intensificación. Sin embargo, en español, ambos términos pueden ser usados como sinónimos (de hecho, en otros idiomas no existe tal distinción).

de la agronomía de campo es posible asimilarlo, con alguna licencia, a la idea de uso eficiente de los recursos. Es posible, entonces, definir a los sistemas eficientes como aquellos que hacen un uso juicioso de los recursos no renovables y de las limitantes, reducen el impacto ambiental, mejoran los beneficios económicos y conservan la base de recursos naturales a largo plazo.

Por lo general, la eficiencia de los sistemas de producción agropecuaria, tanto vegetal como animal, es abordada a través de las funciones de producción que relacionan entradas con salidas, o los recursos disponibles con la productividad (figura 1).

Figura 1. Representación simplificada del concepto de intensificación sostenible mediante funciones de producción.



Los recursos considerados son aquellos que constituyen el capital natural del agroecosistema sumados a los insumos aportados por el productor (fertilizantes, riego, pesticidas, semillas, concentrados, vacunas, mano de obra adicional). Las flechas indican posibles trayectorias de intensificación en el tiempo; las indicadas como i_1 a i_4 son ejemplos de trayectorias de intensificación sostenible. Fuente: Adaptado de Tiftonell, 2018.

En la figura 1 (en rojo) se presenta una relación en forma de “S” típica, aunque hipotética, entre la productividad agrícola y el nivel de recursos disponibles. En esta línea, es posible identificar zonas de alta o baja eficiencia marginal en el uso de dichos recursos. Sin embargo, más allá de cierto nivel de disponibilidad -indicado por el “límite de seguridad ambiental”- no se detecta una respuesta a las inversiones, por lo que cualquier unidad de recursos adicional será utilizada de manera ineficiente, aumentará los riesgos económicos y terminará, probablemente, afectando al ambiente. Imagínese un sistema agrícola determinado, que se encuentra en una situación de disponibilidad de recursos intermedios y baja productividad, representada en la figura por el punto “1”. Ese sistema se ubicaría por debajo de la productividad alcanzable, representada por la curva roja. En este caso hay, básicamente, dos formas de mejorar la eficiencia: aumentar la productividad utilizando la misma cantidad de recursos (punto 2) o mantener el nivel de productividad actual, pero reduciendo la cantidad de recursos e inversiones utilizadas en el proceso de producción. Ambas trayectorias, más cualquier trayectoria intermedia entre ellas, determinarán que el sistema llegue al nivel de productividad alcanzable indicado por la línea en forma de “S”. No se trata aún de una intensificación sostenible, sino simplemente del cierre de las “brechas de eficiencia”, siempre dentro de la función de producción actualmente alcanzable (línea roja).

El cierre de las brechas de eficiencia, que no debe confundirse con el cierre de las brechas de rendimiento, es sin dudas un paso importante y, a menudo, un requisito previo para la intensificación sostenible, algo que se puede lograr a través de medidas parciales que no necesariamente implican un rediseño completo del sistema. Por ejemplo, en el caso de los modelos de producción vegetal, las brechas de eficiencia podrían cerrarse mediante agricultura de precisión, elección de cultivares, manejo integrado de nutrientes o plagas, microdosificación o fertilizantes de liberación lenta, etcétera. En mi

opinión, la intensificación sostenible implica mucho más que eso: significa un cambio hacia una nueva función de producción, como la descrita por la línea punteada color verde en la figura 1.

Si asumimos que nuestro sistema se encuentra en la situación representada por el punto 2, surgen nuevas trayectorias que se podrían seguir para mejorar la eficiencia, representadas por las flechas verdes (i_1 , i_2 , i_3 , i_4) y todas sus combinaciones dentro del área sombreada en el mismo color. Todas conducen a la nueva función de producción o nueva frontera de productividad alcanzable que, por diseño, no tiene forma de “S”.

La trayectoria i_1 define el límite más bajo del área de intensificación sostenible, que apunta a mantener la productividad al tiempo que reduce la cantidad de recursos utilizados en ese proceso, lo que resulta en una mayor eficiencia en el corto plazo. Sin embargo, esta trayectoria no es deseable, dado que puede resultar extractivista y poco productiva. La trayectoria i_3 implica cerrar la nueva brecha de eficiencia al aumentar la productividad utilizando el mismo nivel de recursos que en el punto 2. El límite superior del área de intensificación sostenible está definido por la trayectoria i_4 , que implica un aumento del nivel de recursos con ganancias modestas en productividad. Esta trayectoria puede considerarse necesaria cuando el objetivo es maximizar la productividad, comprometiendo incluso la eficiencia, ya que se empuja el sistema hacia el punto crítico en la nueva función de producción más allá del cual no es posible obtener mayores ganancias de eficiencia (es decir, el nuevo límite ambiental).

Ninguna de las trayectorias de intensificación sostenible implica producir menos que en el punto 2, y solo la trayectoria i_4 implica usar más recursos para intensificar. Finalmente, cualquier trayectoria de intensificación desde el punto 1 que

conduzca a situaciones que estén por debajo de la productividad alcanzable inicial –por debajo de la línea roja en forma de S, como las representadas por las flechas rojas– puede considerarse insostenible. Cabe mencionar que la figura 1 no incluye de manera explícita la dimensión temporal, aunque se encuentra implícita: no es posible lograr las trayectorias de intensificación sostenible i_1 a i_4 en una sola campaña.

Si la intensificación sostenible es definida del modo en que se presenta en la figura 1, se pueden identificar muchos puntos en común con la intensificación ecológica. Algunos autores proporcionan una definición aún más amplia de la primera, y proponen una gran cantidad de indicadores que permiten mensurarla, más allá de los rendimientos y la eficiencia de uso de los recursos. Sin embargo, la mayor diferencia entre ambos conceptos reside en los medios propuestos para llevar adelante el proceso de intensificación.

La intensificación ecológica busca fomentar procesos biológicos; en ese sentido, tiene mucho en común con la agroecología. La primera mención de este término en la literatura científica data de principios del siglo XX y hace referencia al estudio del ecosistema cultivado o modificado por el humano para la producción agropecuaria. Definiciones posteriores lo asimilan a un conjunto de prácticas de manejo (década del 70) o bien a movimientos sociopolíticos o ambientales (década del 80), de allí que hoy la agroecología sea definida con frecuencia como ciencia, práctica o movimiento. Si se la considera una disciplina científica, su relación con la intensificación ecológica es clara: mientras esta última hace referencia a una intensión, a un diseño o a un proceso, la agroecología provee las bases científicas para llevarlo adelante. Su unidad de estudio es el agroecosistema, el cual puede ser definido a diferentes escalas (lote, predio, paisaje, región). De ahora en más, en el presente capítulo se utilizará el término *agroecosistema* como sinónimo de empresa agropecuaria.

Zidua[®] Pack

Herbicida con Axeev

El cambio para ganarle a las malezas.

CONOCÉ MÁS

45

DÍAS EXTRA DE
PERSISTENCIA



 **BASF**

We create chemistry

© Marca registrada BASF. Zidua contiene Axeev technology de Kumai Co.

PELIGRO. SU USO INCORRECTO PUEDE PROVOCAR DAÑOS A LA SALUD Y AL AMBIENTE. LEA ATENTAMENTE LA ETIQUETA.

Pautas para la intensificación ecológica

Tal como se desprende de las definiciones de la sección precedente es imposible proponer “recetas” o “paquetes tecnológicos” para lograr la intensificación ecológica de la empresa agropecuaria. Cada predio es un mundo aparte, con sus características biofísicas, su contexto socioeconómico, su modelo de gestión, su historia y sus estrategias de largo plazo. Lo que se ofrece aquí son algunas pautas genéricas para diseñar procesos de intensificación ecológica, que intentan ser universalmente aplicables, más allá del tipo de producción. Estas pautas se pueden agrupar en cuatro pasos o vías de acción³:

1. Hacer coincidir la oferta de recursos con los requerimientos y demandas del subsistema productivo (vegetal o animal).
2. Regular o corregir aquellos factores que impidan o reduzcan la eficiencia de la relación entre la oferta ambiental y los requerimientos.
3. Reducir la dependencia del sistema respecto de insumos externos, particularmente de aquellos obtenidos a partir de recursos no renovables.
4. Sostener en el tiempo la base de recursos naturales y los servicios ecosistémicos asociados, aumentando la resiliencia del sistema frente a disturbios exógenos.

Es importante destacar que estas pautas están siempre sujetas a los objetivos, en ocasiones múltiples, para los cuales un agroecosistema es diseñado y/o manejado. Dichos objetivos pueden ser productivos, de conservación, de regeneración o reproducción del capital natural o de la base de recursos productivos, de provisión de servicios ecosistémicos de impor-

³ Estas ideas fueron desarrolladas y llevadas al papel por primera vez en inglés, de allí que en su traducción tal vez pierdan fluidez. La definición original los presenta como: (1) Matching, (2) Fine-tuning, (3) Reducing dependence, y (4) Sustaining and building resilience (Tiftonell, 2020).

tancia local o global, de diversificación, de inversión, etcétera. También pueden ser culturales, éticos o afectivos (es el caso, por ejemplo, del mantenimiento del paisaje cultural, la recuperación de un predio familiar o de su función demostrativa o educativa, y la diversificación hacia el agroturismo). Sean cuales fueren los objetivos, estos deben ser explicitados al momento de diseñar la intensificación ecológica de la empresa, ya que ellos van a definir y priorizar sus posibles trayectorias.

Sincronizar oferta y demanda de recursos

La productividad de un sistema (un cultivo, una rotación, un predio) depende de la disponibilidad de ciertos recursos de base -radiación solar, agua y nutrientes-, de la capacidad del sistema para captarlos y convertirlos en biomasa y de la tasa de transformación de esta biomasa bruta en productos de interés económico (granos, frutas, leche, aceite, lana). En el caso de los sistemas de cultivos, dicha transformación se conoce como partición de la biomasa o índice de cosecha (figura 2).

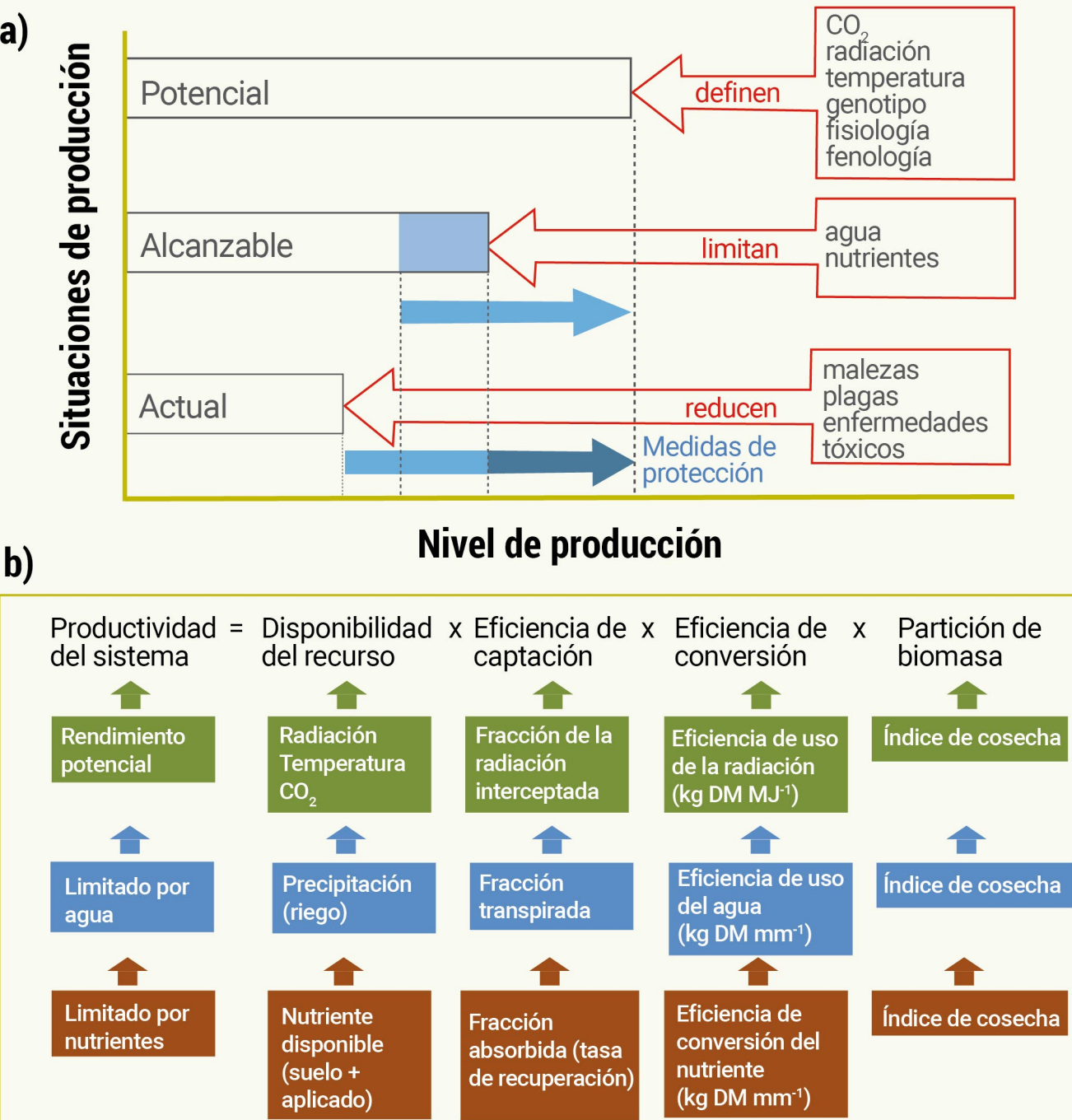
Si se siguen los conceptos clásicos de la ecología de la producción de la escuela holandesa de C.T. de Wit (1982), la disponibilidad de estos recursos o su limitación determinará los niveles de producción potenciales y alcanzables, mientras que la presencia de factores de origen principalmente biológico (malezas, plagas, enfermedades) determinará el rendimiento actual o real. Esta visión de la agronomía, en la que muchos de los técnicos se han formado, a menudo los conduce a pensar que es posible producir prescindiendo de los factores biológicos, cuya representación clásica alude solamente a efectos negativos, como en la figura 2a.

Mientras la agronomía clásica y el mejoramiento trabajan para mejorar la eficiencia de captación y conversión de recursos o sobre la partición de la biomasa, la intensificación ecológica apunta, además, a trabajar por un aumento en la *dispo-*

nibilidad de los recursos (figura 2b), principalmente a través de la ocupación permanente del suelo, la biodisponibilidad de los recursos (disponibilidad mediada por organismos vivos) y de medidas de modificación del ambiente.

La intensificación ecológica propende a una máxima utilización de los recursos productivos en el espacio y en el tiempo,

Figura 2. a) Situaciones de producción según los conceptos clásicos de la ecología de la producción: rendimiento potencial; rinde limitado por agua, rinde limitado por nutrientes y rendimiento actual, reducido principalmente por factores biológicos.
b) Representación de las eficiencias parciales que definen la productividad de un cultivo y los niveles de rendimiento alcanzables



pero a la vez procura mantener o recuperar su *stock* en el sistema, ya se trate del agua, de los nutrientes, del carbono, de la biodiversidad o de los recursos genéticos agropecuarios. En los sistemas agrícolas, esto suele traducirse en una ocupación máxima del suelo durante el año con cultivos comerciales, plantas de servicio, pasturas o rotaciones forestales, a fin de captar al máximo la oferta de radiación, agua y nutrientes, pero también de mantener “vivo” el sistema, biológicamente activo durante todo el año. El mantenimiento de una cobertura vegetal constante permite capturar el exceso de nutrientes en el invierno, generar biomasa que aporte carbono de manera continua a través de las raíces (tejidos muertos o exudados), descompactar el suelo mediante la actividad biológica, crear condiciones para el refugio y la alimentación de organismos benéficos, reducir la erosión hídrica o eólica, usar el exceso de agua para evitar inundaciones en zonas húmedas, movilizar nutrientes desde capas profundas del suelo, competir con las malezas y, en el caso de especies leguminosas, fijar el nitrógeno atmosférico que ingresará al sistema en forma de biomasa aérea y radical.

Una forma de medir en qué grado se está aprovechando la oferta de recursos es a través del *índice de intensificación de las secuencias*, que determina de manera indirecta el tiempo de ocupación de un lote productivo (meses de suelo cubierto/ meses de la secuencia de cultivos y pasturas), el cual será presentado en mayor detalle en el capítulo 3 de este manual. Para lograr una intensificación ecológica son deseables valores iguales o cercanos a 1, dependiendo del contexto (por ejemplo, en zonas áridas, a menudo se prioriza disminuir el consumo de agua remanente durante la estación seca para contar con agua al año siguiente). Sin embargo, la presencia constante de una cubierta viva genera, además, condiciones favorables para la vida en el suelo (lombrices, nematodos benéficos, micorrizas y otros simbiontes, diversos grupos funcionales de microorganismos, etc.), lo que permite aumentar la

disponibilidad de nutrientes y mantener o recuperar los atributos físicos del suelo, resultando en una mayor captura y almacenamiento de agua. Es decir, una cubierta viva permanente genera mayor biodisponibilidad, tanto de agua como de nutrientes.

Además de la cobertura permanente del suelo, las medidas tendientes a lograr una modificación del ambiente pueden incluir labranzas mínimas o siembra directa, la introducción de árboles, arbustos o cercos vivos en el sistema, cultivos en franjas o intercultivos, interacciones de los cultivos con la ganadería en una lógica de agricultura circular, medidas de conservación del agua y del suelo y el diseño espacial de corredores biológicos y áreas *buffer* no cultivadas en el paisaje agrícola con funciones de regulación hídrica y biológica. Todos estos ejemplos apuntan a obtener una mayor disponibilidad de agua y nutrientes, modificando, entre otras cosas, el régimen hídrico y el transporte de sedimentos y sales, lo que redunda en un aumento de los rendimientos alcanzables.





**Paisajes
Multifuncionales**

El programa
que promueve la
biodiversidad
aprovechando áreas
no cultivadas.

.....

**Los Refugios
de Biodiversidad**
promueven el aumento de
poblaciones de insectos
polinizadores, mejorando
los rindes y la calidad de
aquellos cultivos
dependientes de la
polinización.

.....



**CONOCÉ MÁS
DEL PROGRAMA**

HAGA CLICK AQUI

syngenta

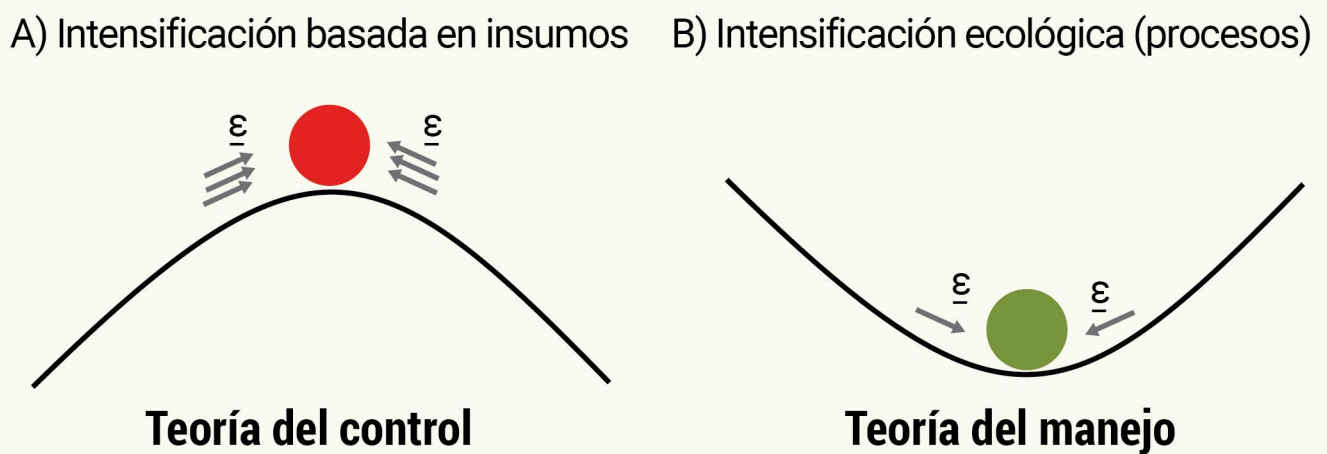
Regulación de factores que limitan la eficiencia

La productividad de un sistema depende de la disponibilidad de recursos abióticos de base y de su eficiencia para capturarlos; de la eficiencia de conversión del recurso en biomasa, y de la partición de ésta hacia órganos o componentes de interés económico (figura 2). Sin embargo, cada una de estas etapas puede verse afectada por diversos factores, exógenos o endógenos, que es necesario regular para mantener niveles elevados de eficiencia ecológica. Muchos de estos factores son de origen biológico, como la presencia de plantas adventicias, insectos fitófagos, nematodos u otros parásitos, hongos y bacterias fitopatológicos, herbívoros de diferentes órdenes, polinizadores, etcétera. Sin embargo, la eficiencia también puede verse afectada por factores abióticos, como la presencia de tóxicos en el agua, el aire o el suelo que perjudican directa o indirectamente a los cultivos alterando, por ejemplo, la biota edáfica. A esto se suman las inundaciones, las voladuras de sedimentos o las heladas.

Esta etapa del proceso de intensificación ecológica consiste en minimizar el efecto negativo de estos factores sobre las eficiencias parciales mediante ciertas estrategias y mecanismos, ya no de control, sino de regulación de los procesos del agroecosistema (figura 3) que permitan capitalizar los servicios ecosistémicos que la biodiversidad del paisaje agropecuario es capaz de proveer cuando es diseñado y manejado con tales objetivos en mente.

Muchos de los procesos necesarios para lograr una intensificación ecológica requieren, por lo tanto, un enfoque de paisaje. Así, por ejemplo, en lugar de diseñar canales para evacuar el agua de un lote o una microcuenca (o, tal vez, además de esto), la intensificación ecológica busca favorecer procesos naturales para alcanzar el mismo propósito, por ejemplo, a través de una mayor transpiración de las plantas con siste-

Figura 3. Representación de las teorías de control y de manejo que sustentan, respectivamente, a las vías de intensificación basadas en insumos (a) o en servicios ecosistémicos (ecológica) (b)



El símbolo “ ε ” representa la cantidad de energía requerida para mantener al sistema de producción (círculo) en equilibrio.

mas radicales que exploren diferentes profundidades o bien mediante el diseño de infraestructuras ecológicas, por ejemplo, humedales y corredores naturales vegetados, que eviten la acumulación del agua sobre un lote agrícola.

En lugar de promover aplicaciones preventivas o curativas de insecticidas, la intensificación ecológica promueve la regulación biológica de insectos plaga mediante el parasitismo, la depredación, la interrupción de ciclos reproductivos, el escape, la modificación del hábitat, la confusión semio-química, la confusión visual, las relaciones multitróficas, etcétera. En lugar de confiar en la resistencia parcial o completa obtenida por el mejoramiento genético o la aplicación de fungicidas, la intensificación ecológica promueve el diseño de paisajes diversos en el espacio-tiempo que interrumpan los ciclos de las enfermedades fúngicas y contengan la distribución y viabilidad de sus esporas.

Los mecanismos de regulación biológica exigen un diseño inteligente del paisaje. La presencia de fuentes de néctar no muy distanciadas unas de otras es un requisito para la subsistencia y reproducción de artrópodos benéficos y polinizados.

res que aseguran la productividad y la calidad de los cultivos. La presencia de zonas vegetadas permanentes en el paisaje permite una recolonización más rápida de las poblaciones de lombrices en lotes agrícolas luego de cada cosecha. Estos sectores son también refugio para los escarabajos de suelo, principales consumidores de semillas de malezas, o para los insectos curculiónidos, depredadores de áfidos, que pueden sobrevivir en estos refugios durante una aplicación de insecticidas y recolonizar el lote al poco tiempo.

Cuando la producción agrícola es integrada con la producción animal, los refugios vegetados favorecen el bienestar animal y eso redundará en una mayor productividad, tal como lo demuestra un número creciente de publicaciones.

En general, el diseño del paisaje ha recibido poca atención en la agronomía clásica, en parte porque sus servicios de regulación de los flujos de agua, sedimentos y solutos o de los procesos biológicos son difíciles de medir o detectar (hasta el momento en que se pierden como consecuencia de la simplificación del paisaje).

Más allá de las relaciones a escala de paisaje, muchos de los mecanismos sobre los que descansa la intensificación ecológica tienen lugar a escala del lote o del perfil. A veces, la mejor forma de aprovechar la oferta ambiental y de regular las eficiencias parciales no es sólo a través de la rotación, sino también del intercultivo. Su eficiencia agronómica se mide mediante la relación de uso equivalente de la tierra (LER), que es un cociente entre el rendimiento de un intercultivo (R_{A+B}) y la suma de los rindes (R_A , R_B) de los cultivos individuales ($LER = R_{A+B} / (R_A + R_B)$), cuyos valores deberían ser mayores de 1 para que el intercultivo se justifique económicamente. En ocasiones, el objetivo puede ser distinto del rendimiento económico de corto plazo: en tales circunstancias, valores de LER menores podrían ser eventualmente aceptables.

Interacciones positivas entre dos cultivos que redunden en un valor mayor de 1 pueden tener lugar en el canopeo como en la rizósfera. Por ejemplo, cuando las raíces entran en contacto unas con otras tienden a ramificarse. Sin embargo, su reacción depende de cuán emparentadas estén filogenéticamente: si pertenecen a una misma planta, a plantas distintas de la misma especie o a plantas de especies diferentes. Cuanto más lejanas sean, mayor será la tasa de ramificación. Por tal motivo, dos especies que crecen juntas en un intercultivo producirán un sistema radical mucho más profuso, capaz de explorar mejor el suelo, captar agua y nutrientes más eficientemente, dejar más carbono y de servir de reaseguro en períodos secos.

Cuando el intercultivo es difícil de practicar por cuestiones técnicas, tecnológicas o logísticas, una forma de mantener algunas de sus interacciones positivas es a través de cultivos en franjas; aunque los efectos subsuperficiales de esta práctica suelen ser prácticamente nulos, existe un volumen creciente de evidencia que muestra interacciones biológicas positivas en la regulación de plagas y enfermedades.

Finalmente, otra manera de aumentar la disponibilidad de recursos y las eficiencias de captación y conversión es a través del manejo de la biodiversidad. La diversidad de organismos presentes en el suelo es compleja y participa en un gran número de procesos que definen su fertilidad física y química, necesaria para sostener la producción. La diversidad edáfica comprende a los microorganismos y a la micro, meso y macro fauna, que se agrupan funcionalmente de la siguiente manera:

- Los ingenieros del ecosistema (IE), capaces de modificar físico-químicamente el ambiente en el que habitan (por ejemplo, lombrices).
- Los ingenieros químicos del suelo (IQ), responsables de transformaciones químicas, como la mineralización y humifi-

cación, pero también la oxidación del amonio a nitrato, la detoxificación y la biorremediación del suelo.

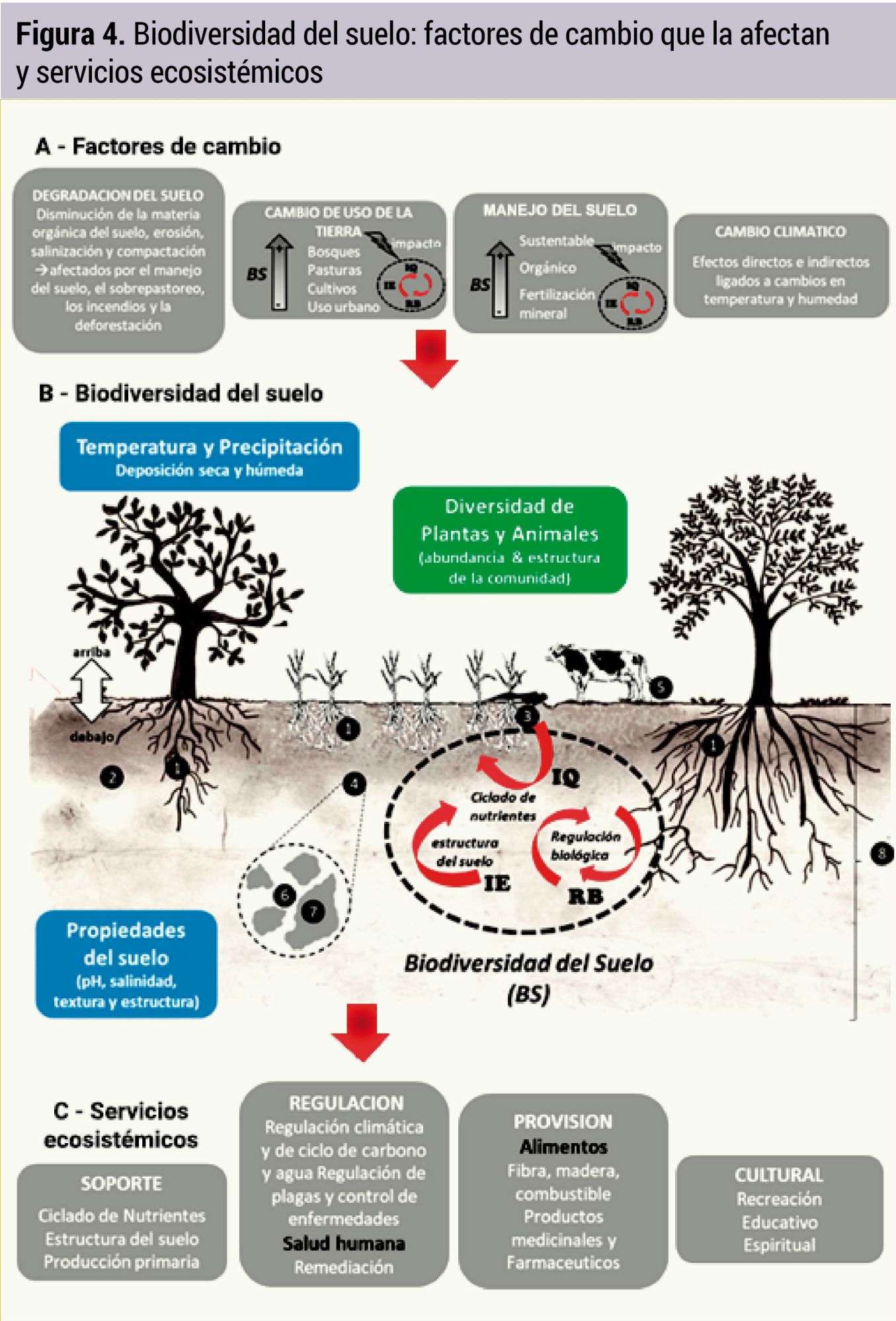
- Los reguladores biológicos (RB), que ajustan las dinámicas poblacionales de otros organismos.

Estos organismos tienen esferas de influencia específicas que explican la variación espacial y temporal en el suelo, en la rizósfera y en la 'agregósfera' según Fox y MacDonald (2003), indicados como puntos 1 y 2 en la figura 4. La agregación del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas dependen estrechamente de la diversidad y la actividad microbiana, pero ésta, además, contribuye al control biológico, por ejemplo, de nematodos y hongos del suelo y a la promoción del crecimiento vegetal mediante exudados probióticos.

La biodiversidad edáfica en su totalidad resulta notablemente afectada por el uso y el manejo del suelo, por los cambios en el uso (agrícola, ganadero o forestal), pero también por el monocultivo y el manejo de los nutrientes. Trabajos recientes liderados por el equipo del Dr. Luis Wall en colaboración con Aapresid en la pampa ondulada muestran cambios favorables en la biodiversidad y en la agregación de los suelos en respuesta a una intensificación y diversificación de las rotaciones, y relaciones inversas entre la actividad biológica del suelo y las tasas de aplicación de agroquímicos durante la rotación. Investigaciones propias mediante técnicas de metagenómica muestran una pérdida de riqueza y abundancia de especies microbianas, y un cambio en las comunidades edáficas en suelos que han recibido aportes excesivos de fósforo por más de 10 años, además de una tendencia al mantenimiento de la diversidad biológica en planteos de manejo orgánico.

El manejo de la biodiversidad edáfica y su dinámica de largo plazo son clave para la regulación de la disponibilidad de

recursos y las eficiencias parciales de captación y conversión en el agroecosistema.



Fuente: Adaptado de El Mujtar et al., 2019

Reducir la dependencia de insumos externos

Los agroecosistemas donde tiene lugar la producción agropecuaria son sistemas abiertos. Es decir, hay una serie de recursos que ingresan al sistema (radiación solar, agua, nutrientes) y una serie de productos que egresan (producción agropecuaria, flujos de carbono, agua, nutrientes, sedimentos, etc.). La intensificación ecológica no propone razonar como si se tratara de sistemas cerrados, sino hacer un uso mucho más eficiente de los materiales y la energía que ingresan o son parte del agroecosistema. La relación entre los flujos de entrada y de salida, medidos en las mismas unidades (en términos monetarios, energéticos, hídricos), constituye la *eficiencia global del sistema*, que se distingue de las eficiencias parciales discutidas anteriormente (figura 2). Esta eficiencia global de uso de los recursos también puede expresarse en términos de biomasa o de energía en el producto en relación con los recursos que ingresan o existen en el predio, por ejemplo, toneladas de grano por milímetro de lluvia.

No debe confundirse a la eficiencia global con los cálculos de ‘huellas’ ambientales, como la del carbono, basados en modelos contables que “traducen” todos los flujos y procesos en una misma unidad y suman los impactos parciales a lo largo de una cadena. Tales modelos descansan sobre un gran número de supuestos no siempre comprobables y carecen de retroalimentaciones dinámicas, que son fundamentales para entender el funcionamiento de la producción agropecuaria desde un punto de vista ecológico.

En un planteo de intensificación ecológica, más allá de la relación entre los productos obtenidos por cada unidad de insumo, interesan las siguientes relaciones:

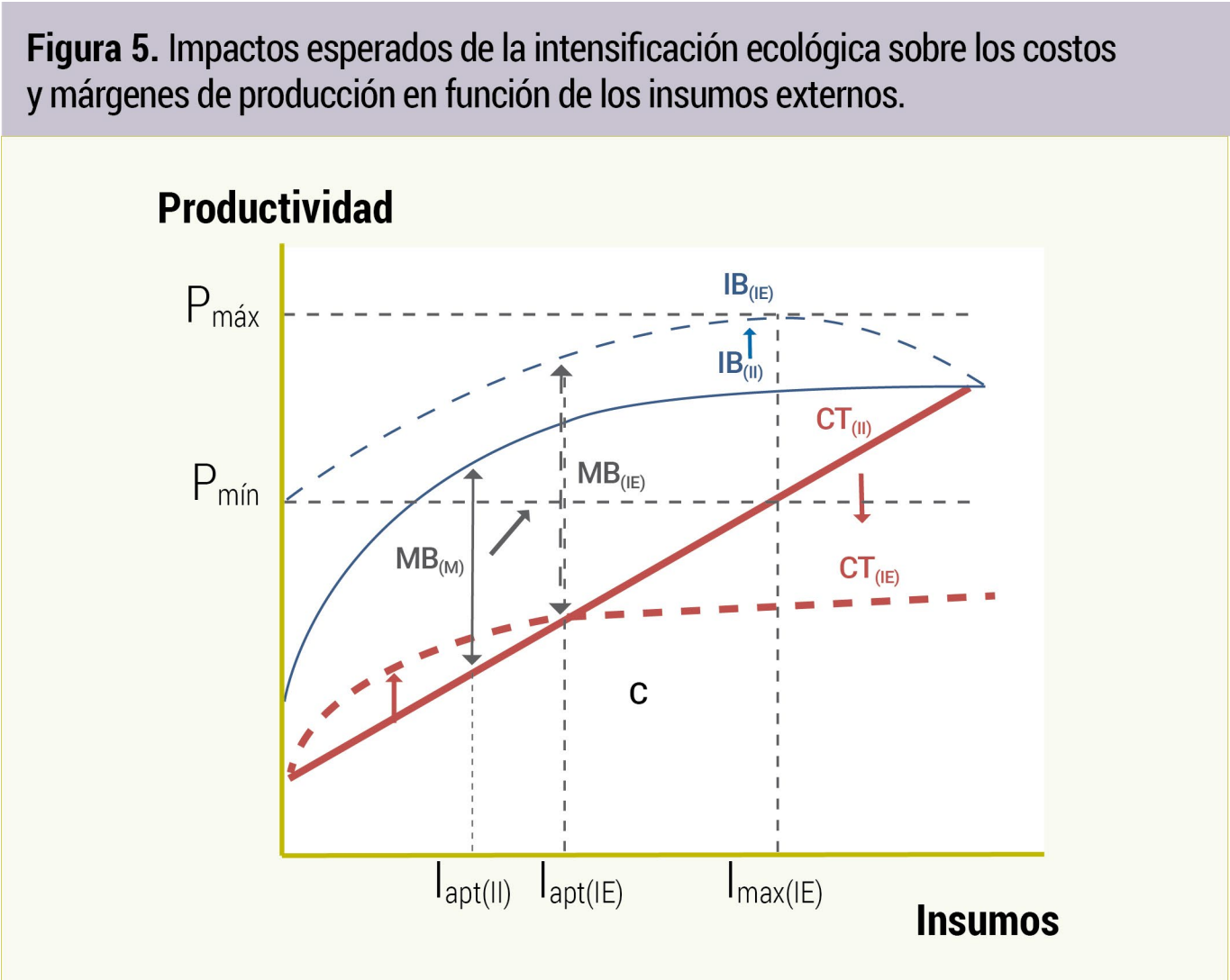
- Los productos obtenidos por unidad de materia ciclada dentro del sistema.

- Los productos obtenidos por unidad de impacto ambiental medible.
- Los costos energéticos de la producción y mantenimiento del agroecosistema.

La primera relación, que podría definirse como *eficiencia ecológica del sistema*, se puede calcular mediante el análisis de redes ecológicas (por ejemplo, el índice de Finn del *Ecological Network Analysis*, Alomia Hinojosa *et al.*, 2019) y debe ser maximizada. En otras palabras, cada molécula que ingresa al sistema (agua, nutrientes, carbono) debe ser utilizada en la mayor cantidad posible de procesos productivos o de restauración/mantenimiento del capital natural. A menudo, en planteos ecológicamente intensivos la productividad se explica mejor por lo que ocurre con los recursos al ingresar al sistema que por la cantidad neta que ingresa. Ahora bien, la reducción de la dependencia respecto de insumos externos debe ocurrir como resultado de una mayor eficiencia en la captura, almacenaje, utilización y reutilización de los recursos, y no a expensas de una “minería”. Por ejemplo, lo ocurrido con el fósforo en los suelos pampeanos, cuya exportación sin reposición se ha visto agravada en las últimas décadas, debe advertirnos sobre el riesgo de la minería de nutrientes. Y no ha sido precisamente la agricultura ecológicamente intensiva, ni la agroecología, ni la agricultura orgánica quienes han generado la pérdida neta de semejante capital.

Por obvias razones, las otras dos relaciones (productos por unidad de impacto y costo energético) deben ser minimizadas para morigerar el impacto de las actividades agropecuarias sobre el ambiente y su contribución al cambio climático. Al mismo tiempo, se deben reducir los costos de producción, aumentar los márgenes y reducir los riesgos económico y ambiental (figura 5).

En su anhelo por incrementar la productividad física de sus establecimientos, muchos productores o gestores de la producción utilizan cantidades de insumos que superan los niveles económicamente óptimos, lo que resulta en elevados costos de producción y márgenes decrecientes. Esto se debe a que la intensificación basada en insumos conduce a un aumento lineal de los costos, al mismo tiempo que a un decrecimiento, menos que proporcional, de la productividad, medida por ejemplo en términos de ingresos.



Referencias: Líneas llenas indican costos, ingresos brutos y márgenes en un esquema de intensificación por insumos ($CT_{(II)}$, $IB_{(II)}$, $GM_{(II)}$, respectivamente). Líneas punteadas corresponden a costos, ingresos y márgenes en una intensificación ecológica ($CT_{(IE)}$, $IB_{(IE)}$, $GM_{(IE)}$).

Productividad refiere genéricamente a la productividad económica ($P_{\text{máx}}$, $P_{\text{mín}}$), y se indica sólo en el caso de la intensificación ecológica. I_{opt} indica el nivel de uso de insumos económicamente óptimo, aquel que maximizaría el margen bruto (MB) en ambos esquemas de intensificación (II e IE), mientras $I_{\text{max(IE)}}$ es el nivel máximo posible –aunque no deseable– de uso de insumos en combinación con procesos en un esquema de intensificación ecológica, más allá del cual los servicios ecosistémicos son afectados y la productividad decae.

Fuente: adaptado de Tiftonell et al., 2020.

La intensificación ecológica propone, en cambio, manejar la biodiversidad del agroecosistema para contar con servicios ecosistémicos que permitan reducir costos y/o incrementar la productividad sin insumos adicionales. En un planteo de intensificación ecológica, los costos de producción pueden aumentar con bajos niveles de productividad por el manejo adicional necesario; sin embargo, el uso de insumos no debería sobrepasar un nivel óptimo ($I_{\text{opt(IE)}}$ en la figura 5), más allá del cual los costos asociados se mantengan constantes y sean menores que en un planteo convencional. Más aún, al intentar elevar el nivel de productividad por encima de P_{max} , se corre el riesgo de que ocurra lo contrario, por la pérdida de servicios ecosistémicos. Este tipo de reflexiones, apoyadas en funciones de producción, no dejan de describir una *foto*, una ventana muy estrecha para analizar los costos latentes en los que puede resultar el uso de ciertos insumos por períodos prolongados, afectando a los procesos biológicos que sustentan las eficiencias parciales del sistema.

El uso excesivo y prolongado de pesticidas produjo, entre otras cosas, la aparición y extensión territorial de la resistencia a fungicidas e insecticidas. En este último caso, también a aquellos que son incorporados en las plantas mediante modificación genética. Esto redundó en un importante incremento de los costos de producción, especialmente cuando el manejo frente a este problema se reduce a un aumento de las dosis o de la frecuencia de aplicación. El uso de pesticidas genera una elevada presión de selección en favor de organismos resistentes, eliminando del *pool* genético a los individuos susceptibles y aumentando la frecuencia de genes de resistencia en la población plaga. Pero, además, su utilización elimina a los biocontroladores naturales, o los afecta en su actividad y en su capacidad reproductiva reduciendo sus aptitudes para el control de plagas. La aplicación de pesticidas también afecta a la biología del suelo, en especial a los organismos de la meso y macro fauna. Por ejemplo, aunque las lombrí-

ces dispongan de métodos propios para detoxificarse, el uso de pesticidas (incluyendo herbicidas) impacta en su fisiología y en su comportamiento, reduciendo su peso individual, su abundancia y su actividad biológica. Al verse afectados éstos y otros ingenieros del ecosistema (figura 4), se irrumpen las redes tróficas, afectando finalmente a todos los microorganismos responsables de las funciones esenciales del suelo. En otras palabras, sin los ingenieros del ecosistema, el trabajo de los ingenieros químicos y de los reguladores biológicos del suelo resulta sustancialmente afectado, lo que redundará en una menor disponibilidad de nutrientes (incluso de aquellos aplicados como fertilizantes).

Aumentar la resiliencia

Los últimos párrafos del apartado anterior hacen referencia a la necesidad de considerar procesos que tienen lugar a tasas variables, pero siempre en el largo plazo, ya que la degradación expresada a través de la erosión, la compactación, la pérdida de biodiversidad edáfica, de nutrientes, de materia orgánica, de biocontroladores, de polinizadores, la salinización, la acidificación, la resistencia a pesticidas, etcétera, resultan de una sumatoria de eventos acumulativos. En un agroecosistema complejo se habla de variables rápidas y lentas. El manejo ecológicamente intensivo consiste en armonizar ambas dinámicas de la mejor manera posible. El caso del manejo fitosanitario de un cultivo constituye un claro ejemplo: mientras la agronomía clásica razona acerca del mejor modo de “combatir” o “controlar” a un determinado insecto plaga en una determinada especie de cultivo, en un cierto lote de producción y en una campaña, la intensificación ecológica procura “manejar” las comunidades de artrópodos (poblaciones plaga y poblaciones benéficas) considerando su dinámica y su distribución a escala de paisaje, tomando en cuenta la rotación de cultivos y otros ambientes vegetados en el espacio y en el tiempo, más allá de la presente campaña. Al mismo

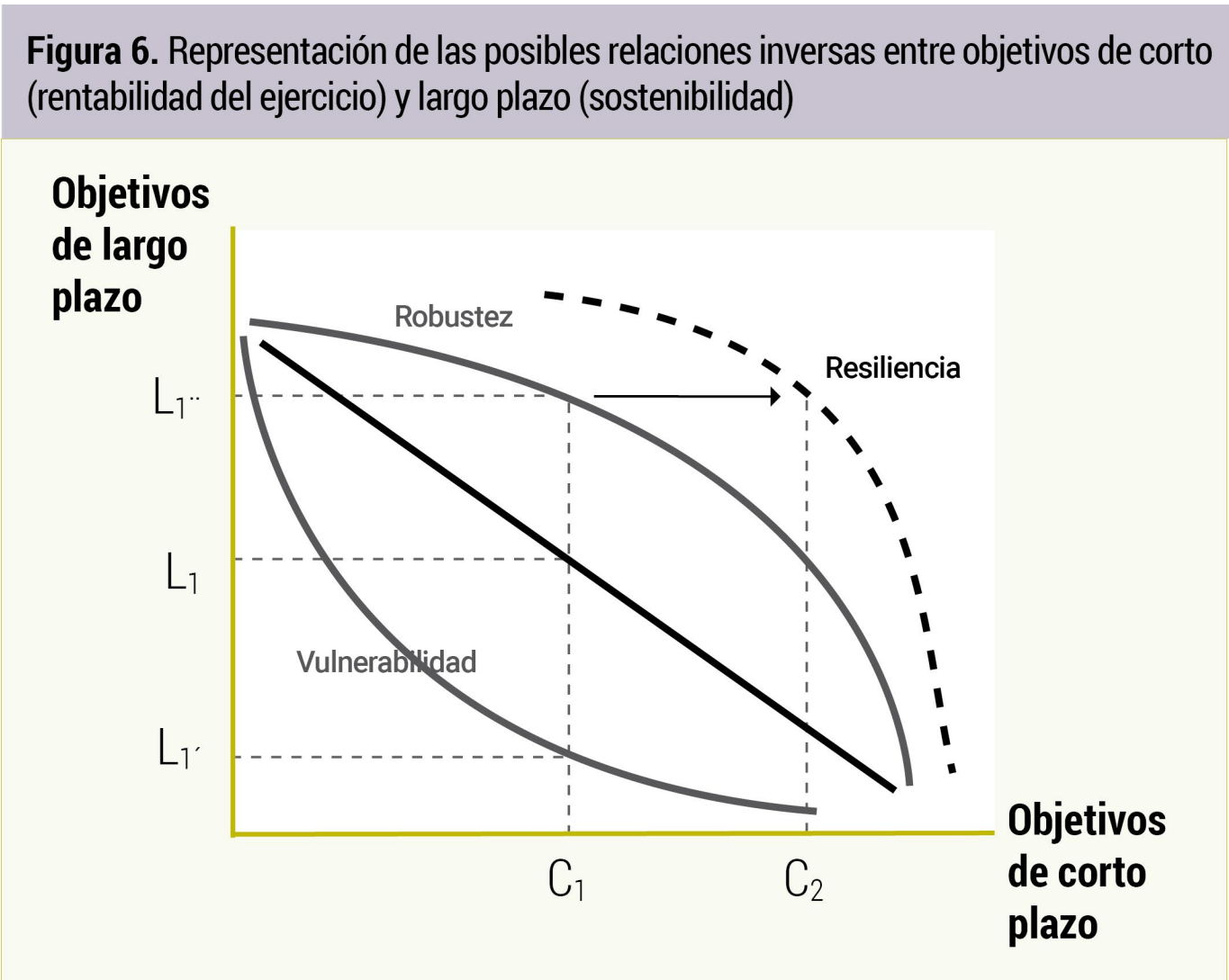
tiempo, la diversificación del agroecosistema no contribuye únicamente a regular las poblaciones de plagas y poblaciones benéficas en el largo plazo, sino que también permite una mayor estabilidad económica de la empresa. Con el tiempo, genera una reducción en los costos de producción, que resulta en una situación *ganar-ganar*.

Sin embargo, muchas veces los objetivos de corto plazo parecen enfrentarse con aquellos de largo plazo. Por ejemplo, repetir un cultivo con frecuencia en respuesta a precios internacionales favorables, como ha ocurrido en el caso de la soja, puede resultar en una elevada rentabilidad sin embargo, también puede acarrear consecuencias desfavorables para la productividad del suelo en el largo plazo. Para entender el grado de compromiso entre ambos objetivos, es importante “mapear” estas relaciones a través de curvas de compromisos o *trade off*, que nos permiten identificar en qué medida y de qué manera operan, tal como se ilustra en la figura 6. Obtener un nivel de satisfacción C_1 de un objetivo de corto plazo (por ejemplo, ingreso económico actual) puede conllevar la pérdida de un objetivo de largo plazo a un nivel L_1 (por ejemplo, materia orgánica en el suelo) cuando estos objetivos son inversamente proporcionales (figura 6). En agroecosistemas vulnerables, la relación entre los objetivos de corto y largo plazo puede ser más que inversamente proporcional, de manera que para alcanzar un nivel C_1 a corto plazo se sacrifican los objetivos de largo plazo a un nivel L_1' (por ejemplo, las pérdidas de materia orgánica son mucho más aceleradas).

Por el contrario, en agroecosistemas robustos o resistentes se podrían lograr niveles C_1 del objetivo a corto plazo, sin que el de largo plazo caiga demasiado, sólo hasta un nivel L_1'' (por ejemplo, la materia orgánica baja, pero se mantiene por encima de un determinado umbral). Además, la intensificación ecológica persigue otros dos objetivos superadores: en primer lugar, aumentar la resiliencia del sistema, de manera

tal que, con el tiempo, se alcance un nivel más elevado de satisfacción del objetivo de corto plazo C_2 , manteniendo el nivel del objetivo de largo plazo L_1'' , que podría ser un umbral de sostenibilidad. En segundo lugar, la intensificación ecológica propone esquemas de diseño y manejo del agroecosistema en los que los objetivos de corto y largo plazo no sean antagónicos sino sinérgicos.

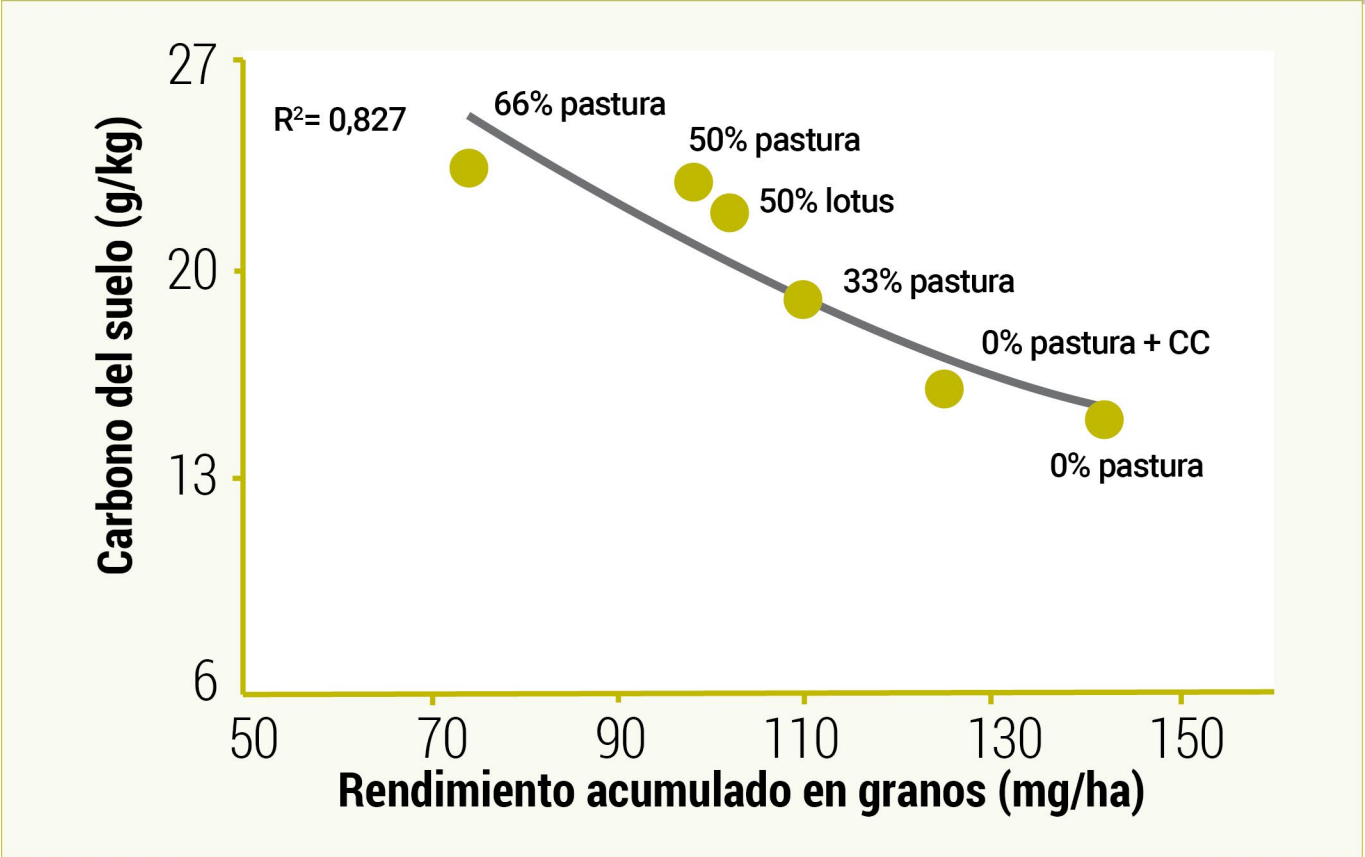
La información más confiable a nivel mundial para evaluar objetivamente la sostenibilidad de diferentes planteos de manejo agrícola son los experimentos de largo plazo. En el caso de la experiencia del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) del Uruguay en La Estanzuela, Colonia, se ve claramente el ejemplo antes mencionado de la relación inversa entre producción de granos y mantenimiento del carbono del suelo (figura 7a). Al reducirse el porcentaje de ocupación de la



C_1 , C_2 , L_1 , L_1' y L_1'' representan niveles de satisfacción de los objetivos de corto y largo plazo, respectivamente.

Figura 7. Experimentos agrícolas de largo plazo

a) La Estanzuela, Uruguay, 1964. Se muestra el rendimiento acumulado en granos (trigo, cebada, lino, sorgo, girasol, maíz, soja) y el nivel de carbono (medido a mitad del ciclo de la pastura, año 2) en tratamientos con 66% (2 años cultivos/3 años pastura) a 0% de pasturas en la rotación; CC: cultivos de cobertura.



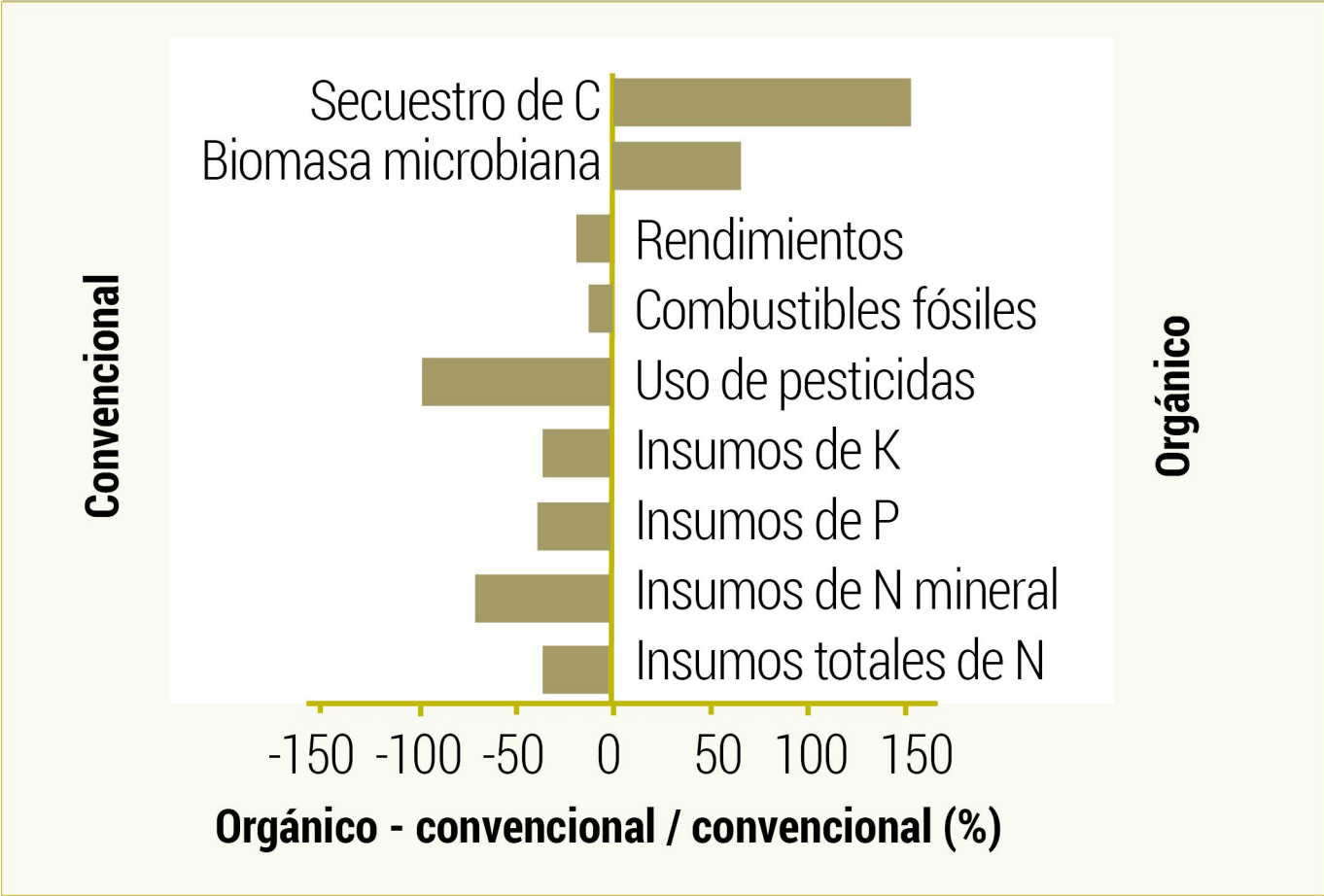
Fuente: a partir de datos presentados por Grahmann et al., 2020.

pastura en la rotación fue posible incrementar la producción total de granos, pero esto ocasionó una reducción del nivel de carbono en los suelos. Sin embargo, el sistema muestra cierto grado de robustez, ya que la producción de granos aumentó hasta llegar a aproximadamente 100 Mg/ha antes de que el carbono del suelo comenzara a caer sustancialmente.

No existen experimentos de intensificación ecológica de larga data, pero sí de agricultura orgánica. Si bien conceptualmente no se trata de lo mismo, al menos permiten evidenciar algunos efectos similarmente esperables, tal como ocurrió en el experimento del *Swiss Institute for Organic Agricultural Research FiBL* (figura 7b). Si bien los rendimientos de los cultivos fueron alrededor de un 20% superiores en el manejo convencional, las rotaciones en el manejo orgánico secuestraron 150%

Figura 7. Experimentos agrícolas de largo plazo

b) FiBL, Suiza, 1978. Se comparan porcentualmente diferentes indicadores entre los tratamientos orgánico y convencional.



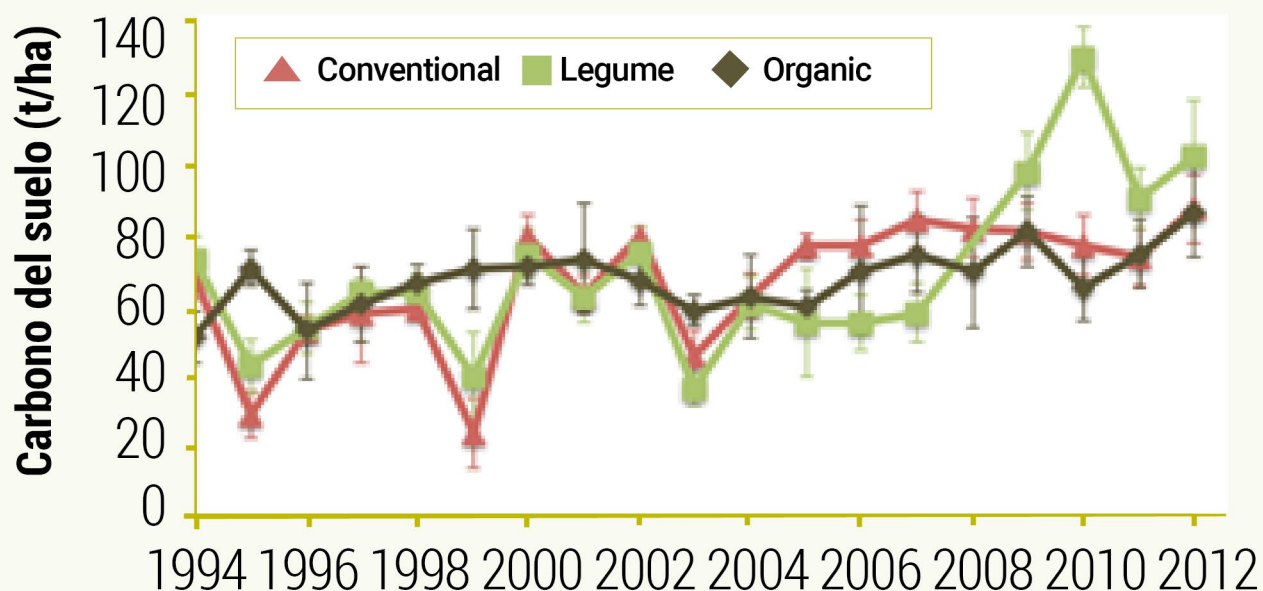
Fuente: Fließbach et al., 2007.

más de carbono, presentaron valores de biomasa microbiana 80% superiores y redujeron los insumos energéticos, de pesticidas y fertilizantes en rotaciones que ya llevan más de 40 años. Un experimento más reciente es el del *Russell Ranch* de la Universidad de California en Davis, que comenzó en 1993 con el objetivo de durar 100 años (figura 7c). Los primeros 20 años muestran mayor estabilidad en los rendimientos de los cultivos bajo manejo orgánico, especialmente en años secos, sin diferencias significativas en términos de rindes promedio, con mayores niveles de carbono y biodiversidad edáfica, y un uso más eficiente del agua de lluvia y de riego.

El clima está cambiando, y con él los regímenes de precipitaciones, temperaturas, heladas, los balances hídricos, el clima del suelo, la fenología de las malezas, las dinámicas poblacionales de plagas y enfermedades, etcétera. Construir resiliencia

Figura 7. Experimentos agrícolas de largo plazo

c) *Century Experiment*, UC Davis, California, 1993. Rendimientos de tomate industria en rotación con cereales (trigo y maíz) bajo tres esquemas de manejo (*Legume*: cultivos de cobertura de especies leguminosas).



Fuente: datos de acceso público:

<https://asi.ucdavis.edu/programs/rr/research/data>.

a través de la intensificación ecológica implica también fortalecer la capacidad del sistema para adaptarse al cambio. Esta capacidad adaptativa se construye en el largo plazo, tal como lo demuestran los resultados de los experimentos presentados en la figura 7. Una revisión bibliográfica de la literatura científica disponible donde se comparan sistemas agrícolas convencionales con otras alternativas de manejo (agroecológicas u orgánicas) reveló que estos sistemas presentaban ventajas estadísticamente significativas sobre los primeros en términos de (i) secuestro de carbono hasta los 30 cm de profundidad; (ii) eficiencia de uso de la energía; (iii) capacidad de retención del agua en el suelo; (iv) resistencia a la sequía, y (v) resistencia a huracanes y fuertes lluvias. Los autores no encontraron diferencias significativas en términos de la contribución al potencial de calentamiento global o del secuestro de carbono hasta un metro de profundidad. Nuevamente, si bien la totalidad de estos casos ($n = 97$) no puede ser presentada como ejemplo de intensificación ecológica, evidencia al

menos el potencial de estas alternativas para hacerle frente al cambio climático. De allí que, actualmente, tanto los expertos que participan del IPCC como los del IPBES recomiendan a la agroecología como una alternativa válida para enfrentar los desafíos que plantea la producción de alimentos.

Consideraciones finales

La intensificación ecológica utiliza las bases científicas de la agroecología para diseñar una transición de la empresa agropecuaria hacia modelos de producción más sostenibles, capaces de hacer un uso inteligente de las funcionalidades que ofrece la biodiversidad, reducir costos y riesgos de producción y sus impactos ambientales y sociales. El elemento central de la intensificación ecológica consiste en el manejo de las interacciones biológicas presentes en el ecosistema, a todas las escalas, desde el perfil del suelo hasta el paisaje, y los servicios ecosistémicos asociados.

Las pautas para la intensificación ecológica discutidas en el presente capítulo son propuestas como una guía, pero de ninguna manera constituyen una receta. Cada campo, cada lote, cada ambiente es un mundo complejo y quien mejor conoce esa complejidad y su evolución en el tiempo es el productor, quien puede utilizar sus conocimientos para diseñar planteos productivos basados en “insumos intelectuales”.

Modelos de producción que expulsen a los productores del campo en favor de planteos de manejo a gran escala de tipo industrial no sólo comprometen la salud ambiental y los recursos naturales, sino también la oportunidad de alcanzar un futuro mejor para el sector.

Uno de los argumentos más frecuentes para sostener la necesidad del modelo productivo actual es que “la Argentina alimenta al mundo”. Un fin tan altruista parecería justificar los

medios, fundamentando la utilización de cualquier forma de producción y los pasivos ambientales asociados.

El mejor indicador de la disponibilidad de alimentos a nivel mundial; el que se utiliza para realizar cualquier cálculo relativo a la seguridad alimentaria es la producción de cereales, en especial de trigo, maíz y arroz y, en segundo lugar, de avena, cebada, sorgo, mijo y centeno. Se utiliza a los cereales como indicadores ya que se calcula que el 80% de las calorías ingeridas por la humanidad proviene de allí, ya sea de manera directa (granos enteros o molidos) o bien transformados en otros productos como carnes, azúcares y otras moléculas y procesados más complejos.

La contribución argentina a la producción mundial de cereales ronda aproximadamente el 3% (<http://www.fao.org/faostat>). Una contribución importante, sin dudas. En especial porque una gran parte es exportada. Sin embargo, esa misma cifra nos indica a las claras que no es la producción argentina la que alimenta al mundo. Desde luego, las oleaginosas nacionales tienen una gran participación en el producto y en el comercio mundial, aunque la mayoría de esas calorías se pierden en la transformación secundaria o en la combustión. La mayor parte de las exportaciones del sector agropecuario argentino constituyen productos indiferenciados, de bajo costo, que carecen de identidad territorial o de una impronta de calidad.

Es momento de repensar la estrategia agroexportadora del país para promover una mayor diferenciación de los productos del agro (por ejemplo, con sellos de calidad, de equidad social como *Fair Trade*, de responsabilidad ambiental, de conservación de la biodiversidad y los recursos naturales, etcétera) junto con una mayor diversificación de la cartera de productos que contribuya a estimular a los productores a transitar el camino de la intensificación ecológica.

En este capítulo se insistió lo suficiente acerca de que la biodiversidad es la base de los servicios ecosistémicos necesarios, tanto para la empresa agropecuaria como para la sociedad en general.

Las nuevas técnicas analíticas nos permiten conocer cada vez con mayor exactitud lo que sucede en cada momento, en cada rincón y a diferentes escalas del agroecosistema. También nos enseñan que la producción agropecuaria es un proceso complejo que va mucho más allá de la relación entre insumos y productos. Las nuevas “revoluciones verdes” surgirán de nuestra capacidad para entender tal complejidad y manejarla. En lo que refiere a la biología del suelo, por ejemplo, estamos apenas rasgando la superficie del conocimiento necesario para entender y manejar la biodiversidad en favor de una intensificación ecológica sostenible. Pero se avanza con rapidez, tal como ocurre en la comprensión de las interacciones biológicas a nivel del paisaje, en el desarrollo de herramientas de soporte para la agricultura de precisión, de la robótica o de la nanotecnología y sus aplicaciones. Lamentablemente, y a pesar de todos estos avances, el deterioro ambiental producto de las prácticas agropecuarias continúa en el país y el mundo. Es hora de *abrazar* la intensificación ecológica de la empresa agropecuaria, no sólo como un conjunto de técnicas de manejo sino también como un emblema del futuro que deseamos para nuestro sector agropecuario.

Bibliografía

Agaras, Betina Cecilia; Scandiani, María Mercedes; Luque, Alicia; Fernández, Leticia Andrea; Farina, María Florencia; *et al.* "Quantification of the potential biocontrol and direct plant growth promotion abilities based on multiple biological traits distinguish different groups of *Pseudomonas* spp isolates". Academic Press Inc. Elsevier Science; *Biological Control* 90, 173-186. 2015.

Allema B, van der Werf W.; van Lenteren J.C. Hemerik L.; Rossing W. "Movement behaviour of the carabid beetle *Pterostichus melanarius* in crops and at a habitat interface explains patterns of population redistribution in the field". *PLOS ONE* 9(12): e115751. 2014.

Alomia-Hinojosa, V., Groot, J.C.J., Speelman, E.N., Bettinelli, C., McDonald, A.J., Álvarez, S., Tiftonell, P. "Operationalizing the concept of robustness of nitrogen networks in mixed smallholder systems: A pilot study in the mid-hills and lowlands of Nepal". *Ecological Indicators* 110, 105883. 2020.

Basche, A., De Longe, M. "The Impact of Continuous Living Cover on Soil Hydrologic Properties: A Meta-Analysis". *Soil Science Society of America Journal*. J. 81:1179 1190doi:10.2136/sssaj2017.03.0077. 2017.

Boussemart, J.P., Leleu, H., Ojo, Oluwaseun Mercy. "Exploring cost dominance between high and low pesticide use in French crop farming systems by varying scale and output mix". *Journal of Productivity Analysis*. 45. 10.1007/s11123-015-0443-1. 2015.

Chen B. J., During H.J., Anten N.P.R. "Detect thy neighbor: Identity recognition at the root level in plants". *Plant Science* 2012; 195: 157–167. pmid:22921010. 2015.

Cole, L.J., Stockan, J., Helliwell, "R. Managing riparian buffer strips to optimise ecosystem services: A review". *Agriculture, Ecosystems & Environment* 296, 106891. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106891>.

Coleman G. J., Hemsworth, P.H. "Training to improve stockperson beliefs and behaviour towards livestock enhances welfare and productivity". *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.* 33, 131-137. 2014.

Creamer, R.E., Hannula, S.E., Leeuwen, J.P.V., Stone, D., Rutgers, M., Schmelz, R.M., Ruiter, P.C. d., Hendriksen, N.B., Bolger, T., Bouffaud, M.L., Buee, M., Carvalho, F., Costa, D., Dirilgen, T., Francisco, R., Griffiths, B.S., Griffiths, R., Martin, F., Silva, P.M. da, Mendes, S., Morais, P.V., Pereira, C., Philippot, L., Plas-

sart, P., Redecker, D., Römcke, J., Sousa, J.P., Wouterse, M., Lemanceau, P. "Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe". *Appl. Soil Ecol.* 97, 112–124. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.006>.

Cruzate, Gustavo & Casas, Roberto. "Extracción de nutrientes en la agricultura argentina". *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* (LACS). 44. 2009.

Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., Carvalheiro, L.G., Chaplin-kramer, R., Gagic, V., Garibaldi, L.A., Ghazoul, J., Grab, H., Jonsson, M., Karp, D.S., Letourneau, D.K., Marini, L., Poveda, K., Rader, R., Smith, H.G., Takada, M.B., Taki, H., Tamburini, G. & Tschumi, M. "A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production". *Sci. Adv.*, 5, eaaax0121. 2019.

Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., Tittonell, P. "Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge". *European Journal of Agronomy* 34, 197-210. 2011.

El Mujtar, N. Muñoz, B. Prack Mc Cormick, M. Pulleman, P. Tittonell. "Role and management of soil biodiversity for food security and nutrition; where do we stand?" *Global Food Security* 20, 132-144. 2019.

Figuerola E.L., L.D. Guerrero, Türkowsky D., Wall L.G. and L. Erijman. "Crop monoculture rather than agriculture reduces the spatial turnover of soil bacterial communities at a regional scale". *Environmental Microbiology* (on line first) doi:10.1111/1462-2920.12497. 17, 678–688. 2015.

Fliessbach A., Oberholzer H.R., Gunst L., Mäder P. "Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming". *Agriculture, Ecosystems & Environment*;118:273-84. 2007

Fox, C.A., MacDonald, K.B. "Challenges related to soil biodiversity research in agroecosystems - Issues within the context of scale of observation". *Can. J. Soil Sci.* 83, 231–244. 2003. <https://doi.org/10.4141/S01-059>.

Gardiner M. M., Landis D.A., Gratton C., Schmidt N., O' Neal M., et al. *Landscape composition influences patterns of native and exotic lady beetle abundance*. *Diversity and Distributions* 15: 554–564. 2009.

Givaudan, N., Claudia Wiegand, Barbara Le Bot, David Renault, Frédérique Pallois, Stéphanie Llopis, Françoise Binet. "Acclimation of earthworms to

chemicals in anthropogenic landscapes, physiological mechanisms and soil ecological implications". *Soil Biology and Biochemistry*, 73: 49 DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.01.032. 2014.

Grahmann, K., Rubio Dellepiane, V., Terrab, J.A., Quincke, J.A. "Long-term observations in contrasting crop-pasture rotations over half a century: Statistical analysis of chemical soil properties and implications for soil sampling frequency". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 287,106710. 2020.

Holland, J.M., Bianchi, F.J., Entling, M.H., Moonen, A.C., Smith, B.M., Jeaneret, P. "Structure, function and management of semi-natural habitats for conservation biological control: a review of European studies". *Pest management science* 72, 1638–1651. 2016. <https://doi.org/10.1002/ps.4318>

Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T.P.M., Garibaldi, L.A., Potts, S.G., van der Putten, W.H. "Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice". *Trends in Ecology and Evolution* 34, 154–166. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>

Kuppel, S., J. Houspanossian, M. D. Noretto, and E. G. Jobbagy. "What does it take to flood the Pampas? Lessons from a decade of strong hydrological fluctuations". *Water Resour. Res.*, 51, 2937–2950, doi:10.1002/2015WR016966. 2015.

Lamichhane, J.R., Silke Dachbrodt-Saaydeh, Per Kudsk, and Antoine Meséan. *Toward a Reduced Reliance on Conventional Pesticides in European Agriculture*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-15-0574-FE>. 2015.

Landis, D.A. "Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services". *Basic and Applied Ecology* 18, 1-12. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>.

Lechenet M, Bretagnolle V, Bockstaller C, Boissinot F, Petit M-S, Petit S, et al. 2014. "Reconciling Pesticide Reduction with Economic and Environmental Sustainability in Arable Farming". *PLOS ONE* 9(6): e97922. 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097922>

Li Chunjie, Ellis Hoffland, Thomas W. Kuyper, Yang Yu, Haigang Li, Chaochun Zhang, Fusuo Zhang, Wopke van der Werf. "Yield gain, complementarity and competitive dominance in intercropping in China: A meta-analysis of drivers of yield gain using additive partitioning". *European Journal of Agronomy*, 125987. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125987>.

Lugtenberg, B., Kamilova, F. "Plant-growth-promoting rhizobacteria". *Annu. Rev. Microbiol.* 63, 541–556. 2009.

Medina-Sauza Regina M., Álvarez-Jiménez Marycruz, Delhal Alix, Reverchon Frédérique, Blouin Manuel, Guerrero-Analco José A., Cerdán Carlos R., Guevara Roger, Villain Luc, Barois Isabelle. "Earthworms Building Up Soil Microbiota, a Review". *Frontiers in Environmental Science* 7, 81. DOI=10.3389/fenvs.2019.00081. 2019.

Mortensen D.A., Egan J.F., Maxwell B.D. *et al.* "Navigating a critical juncture for sustainable weed management". *Bioscience* 62:75–84. 2012. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.12>

Orgiazzi, A., Bardgett, R., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M., Chotte, J., De Deyn, G., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., Miko, L., Montanarella, L., Moreira, F., Ramirez, K., Scheu, S., Singh, B., Six, J., van der Putten, W., Wall, D. *Global soil biodiversity atlas*. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2016. <https://doi.org/10.2788/799182>.

Pulleman, M., Creamer, R., Hamer, U., Helder, J., Pelosi, C., Pérès, G., Rutgers, M. "Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services—an overview of European approaches". *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 4, 529–538. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.009>. 2012.

Rodríguez, M., Domínguez, A. y Ferroni, M., Wall, L. y Bedano, José. "The Diversification and Intensification of Crop Rotations under No-Till Promote Earthworm Abundance and Biomass". *Agronomy*. 10. 919. 10.3390/agronomy10070919. 2020.

Rossing, W.A.H., Modernel, P., Tiftonell, P. "Diversity in organic and agroecological farming systems for mitigation of climate change impact, with examples from Latin America". In J. Fuhrer & P. Gregory (Eds.), *Climate change impact and adaptation in agricultural systems* (CABI Climate Change Series, 5). CAB International 2014.

Russell Ranch Sustainable Agriculture Facility. Year. *Cover crop biomass yields*. Davis, CA: Russell Ranch Electronic Data Archives: CC-001. [Database]. <https://asi.ucdavis.edu/programs/rr/research/data>

Silici, L. "Agroecology: What it is and what it has to offer". *IIED Issue Paper*. London: International Institute for Environment and Development. 2014.

Skelsey, P., Kessel, G., Rossing, W.A., van der Werf, W. "Scenario approach for assessing the utility of dispersal information in decision support for aerially spread plant pathogens, applied to *Phytophthora infestans*". *Phytopathology* 99:887-895. 2009.

Smith, A., Snapp, S., Chikowo, R., Thorne, P., Bekunda, M., and Glover, J. "Measuring sustainable intensification in smallholder agroecosystems: A review". *Global Food Security*, 12, pp. 127–138. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.11.002>.

Tabashnik, B., Brévault, T. y Carrière, Y. "Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres". *Nat Biotechnol.* 31, 510–521. 2013. <https://doi.org/10.1038/nbt.2597>

Tittonell, P. "Ecological intensification – sustainable by nature". *Current Opinion on Environmental Sustainability* 8, 53–61. 2014.

Tittonell, P. "Ecological Intensification of Agriculture", Ch. 13 in: Serraj, R., Pingali, P. (Eds.), *Agriculture & Food Systems to 2050. Global Trends, Challenges and Opportunities*, World Scientific, <https://doi.org/10.1142/11212>, 437-472. 2018.

Tittonell, P., Corbeels, M., van Wijk, M.T., Giller, K.E. "FIELD - A summary simulation model of the soil-crop system to analyse long-term resource interactions and use efficiencies at farm scale". *European Journal of Agronomy* 32, 10–21. 2009.

Tittonell, P., Giller, K.E. „When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture". *Field Crop Res.* 143, 76-90. 2013.

Tittonell, P., Piñeiro, G., Garibaldi, L.A., Dogliotti, S., Olf, E., Jobbagy, E.G. "Agroecology in large scale farming – a research agenda". *Frontiers in Sustainable Food Systems*, in review. 2020.

Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., Hochman, Z. "Yield gap analysis with local to global relevance – a review". *Field Crop Res.* 143, 4-17. 2013.

Wolf, K. M., Torbert, E. E., Bryant, D., Burger, M., Denison, R. F., Herrera, I., Hopmans, J., Horwath, W., Kaffka, S., Kong, A.Y.Y., Norris, R. F., Six, J., Tomich, T.P., and Scow, K.M. "The century experiment: the first twenty years of UC Davis' Mediterranean agroecological experiment". *Ecology*, 99, 503-503. 2018

2

Bases conceptuales para el manejo de agroecosistemas multifuncionales



Dr. Gervasio Piñeiro Guerra

*Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas
Vinculadas a la Agricultura, Universidad de Buenos Aires.*



En este capítulo se presenta la información que se considera más relevante para comprender, analizar y diseñar sistemas agropecuarios extensivos en la región agrícola argentina, si bien son conceptos que pueden aplicarse a los sistemas agropecuarios en general. Algunas de las ideas que se desarrollarán cuentan con un alto grado de aceptación dentro de la comunidad científica, mientras que otras aún se encuentran en período de formulación, por lo que deben ser tomadas con cautela.

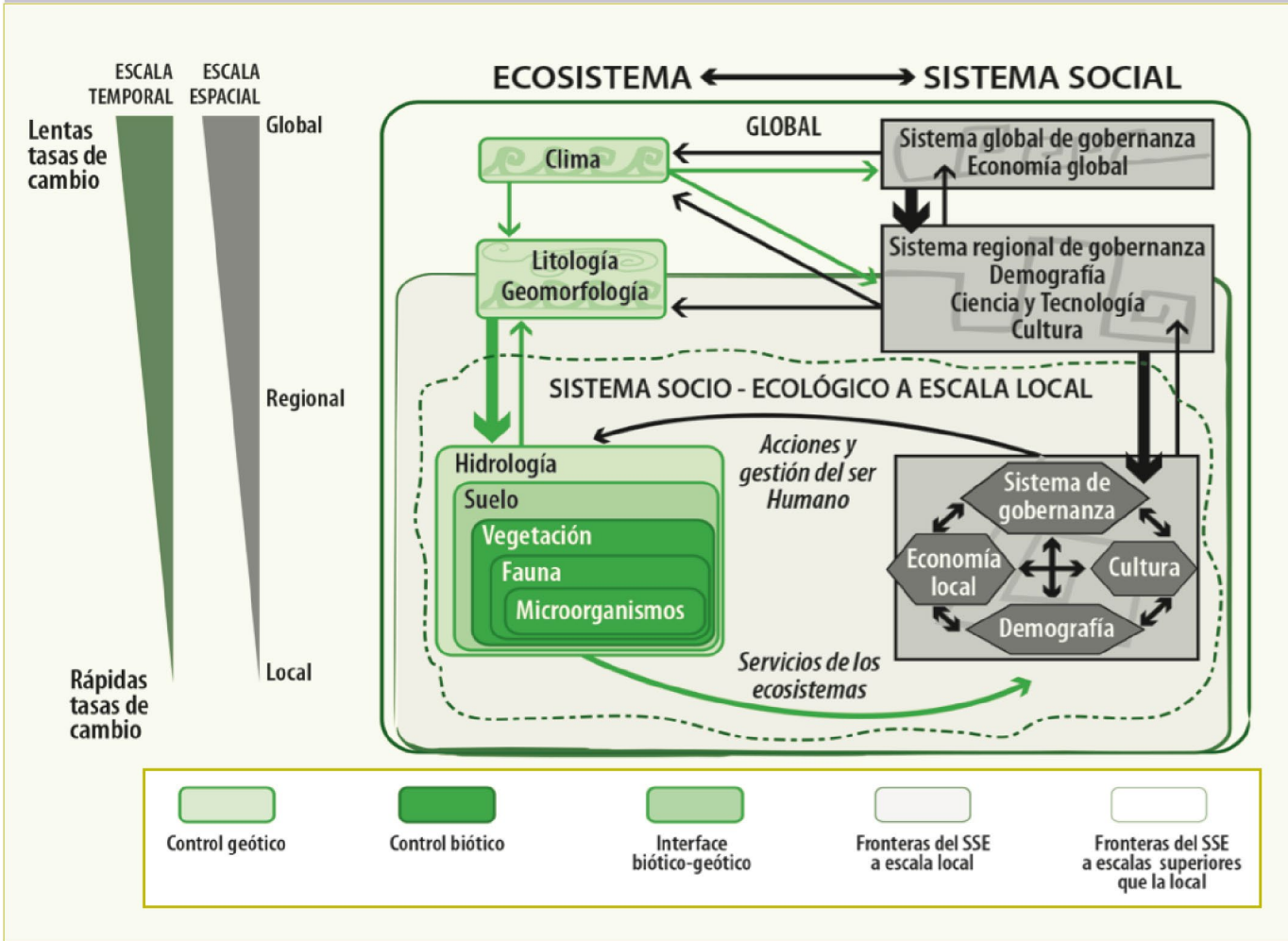
A continuación, se ofrece una breve reseña del marco actual de la producción agropecuaria desde una perspectiva socioecosistémica; luego, se desarrollan conceptos básicos que refieren a los agroecosistemas productivos y sus productos, para finalizar con la presentación de un nuevo paradigma agropecuario.

¿En qué marco producimos?

En los últimos años, el sistema de producción de alimentos ha sido muy cuestionado por los consumidores y por la sociedad en general, lo cual ha sido expresado a través de diversas reacciones, algunas más extremistas, otras más proactivas o conciliadoras, tanto por parte de los productores como del resto de la comunidad. Para desarrollar sistemas agroalimentarios que satisfagan los requerimientos de la sociedad actual es necesario comprender las interacciones presentes entre los sistemas sociales y los sistemas ecológicos de producción. Es importante reconocer que producimos alimentos en el marco de ecosistemas, los cuales tienen ciertas propiedades y brindan una multiplicidad de servicios. Por esta razón, más allá de las cuestiones filosóficas o políticas que suelen surgir al abordar estos temas, se describirá el marco teórico desarrollado en torno de los sistemas socioecológicos que permite entender nuestra relación con la naturaleza.

Los denominados *sistemas socioecológicos* (también llamados socioecosistemas) incluyen a los ecosistemas o unidades biogeofísicas con los que se asocian uno o más sistemas sociales (figura 1). La noción de que las sociedades humanas y el ambiente forman un único sistema resulta clave para entender el relacionamiento y la coevolución entre ambos componentes, que han sido históricamente estudiados y analizados por separado. El análisis de estos sistemas complejos exige una multiplicidad de miradas y disciplinas, y se basa en el estudio de las variables más representativas de ambos componentes (por

Figura 1. Modelo conceptual para la identificación de sistemas socioecológicos en función de la escala espacio-temporal



Los componentes de los ecosistemas y del sistema social interactúan a diferentes escalas espacio-temporales. Los procesos relacionados con escalas superiores influyen, con tasas de cambio lentas, sobre los componentes socioecológicos a escala regional, los cuales, a su vez, inciden sobre los componentes locales del sistema socioecológico (con tasas de cambio más aceleradas). El ser humano responde a los cambios del sistema a través de mecanismos institucionales en distintos niveles organizativos, los cuales determinan el estado de los ecosistemas y, por ende, su capacidad para suministrar servicios a la sociedad.

Fuente: Tomado de Martín López et al., 2012.

ejemplo, la riqueza de especies o productividad primaria para los ecosistemas, y el nivel de ingresos o el nivel educativo en el caso de las sociedades), pero también de aquellas que describen las interacciones entre ambos sistemas (por ejemplo, el nivel de apropiación de servicios ecosistémicos).

La importancia de considerar a la producción agropecuaria en el marco teórico de los sistemas socioecológicos reside en la posibilidad de comprender que los ecosistemas aportan numerosos servicios al bienestar de la humanidad (no sólo alimentos) y que, a su vez, las sociedades humanas toman decisiones y realizan diversas actividades que afectan a los ecosistemas. Estas actividades no siempre son realizadas con una visión de conjunto; a menudo, perspectivas parciales o estrechas provocan una disminución en la provisión de algunos servicios y la degradación de los ecosistemas. Y son las mismas sociedades las que advierten estos perjuicios, a veces, demasiado tarde, por lo que desarrollan mecanismos y acciones tendientes a regularlos.

¿Qué producimos?

Ante esta pregunta, la sociedad en general posiblemente respondería: alimentos; es decir, maíz, soja, carne, leche, verduras, frutas, etcétera. Algunos podrían mencionar también fibras (por ejemplo, algodón) y otros, biocombustibles. Si bien estas respuestas son correctas resultan insuficientes, ya que -seamos conscientes o no- los sistemas agropecuarios producen muchas otras cosas además de aquellas que se venden o se consumen. Esta multiplicidad de beneficios que ofrecen los ecosistemas, tanto los artificiales como los naturales, se ha dado en llamar *servicios ecosistémicos* o contribuciones de la naturaleza a las personas.

El concepto de servicios ecosistémicos, propuesto por Daily en 1997, cobró relevancia en los últimos años, porque permite

relacionar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas con los beneficios que estos brindan y su valor (figura 2).

Los sistemas agropecuarios ofrecen una multiplicidad de servicios ecosistémicos, los cuales no se limitan a los productos comercializables. Sin embargo, cuando se piensa en los agroecosistemas, muchas veces se consideran únicamente los servicios de provisión o de abastecimiento (carne, verduras, leche, agua, etcétera) soslayando los servicios de regulación y soporte que éstos brindan, probablemente porque los primeros tienen un precio, aunque los segundos tienen mucho valor.

Figura 2. Representación esquemática de servicios ecosistémicos, clasificados en cuatro categorías



Fuente: Adaptado de wwf.org.mx.

Los servicios de regulación y soporte son clave para mantener el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas; ellos permiten continuar con la producción de alimentos, pero también mantener a la biosfera en condiciones habitables para los seres humanos y para el resto de los seres vivos.

Algunos de estos servicios tienen impacto local y afectan directamente a la producción agropecuaria, tales como la fertilidad del suelo, su estructura, su capacidad para retener agua, la erosión, el control de malezas, plagas y enfermedades, la regulación de la temperatura del suelo, la profundidad de las napas, etcétera. Por otro lado, están aquellos servicios ecosistémicos que operan a escala regional; dependen del accionar colectivo de los productores de una región y afectan a las comunidades que se estructuran en función de su actividad. Entre ellos figuran, por ejemplo, el control de las inundaciones, la lixiviación de nitratos a las napas o el vertido de agroquímicos o nutrientes en arroyos, lagos y lagunas. Por último, están los servicios ecosistémicos de regulación y soporte que afectan a todo el planeta, a pesar de ser brindados por agroecosistemas particulares, como la emisión de gases de efecto invernadero o la conservación de la biodiversidad como valor intrínseco.

Cuando el diseño de los agroecosistemas persigue únicamente la obtención de productos comercializables (alimentos, fibras, etc.) se produce, en muchos casos, un deterioro de los servicios de regulación y soporte y una degradación de los ecosistemas. Este deterioro impacta a escala local, reduciendo las posibilidades de producir alimentos, y a escala regional y global, disminuyendo la provisión de otros servicios.

En las últimas décadas se observa un aumento considerable en el nivel de producción de alimentos en la mayoría de las regiones del planeta, a pesar de registrarse un menoscabo en los servicios ecosistémicos de regulación y soporte. Esto es posi-

ble gracias a un importante incremento en el uso de insumos: la pérdida de materia orgánica y nutrientes es suplida por el agregado de fertilizantes o por una disminución de los enemigos naturales como consecuencia del uso de insecticidas. En otras palabras, el deterioro de procesos básicos del ecosistema reduce la provisión de servicios de regulación y soporte, los cuales son suplidos por un aumento en el uso de insumos y, consecuentemente, por un incremento de los costos asociados a la producción. Por otro lado, la pérdida de estos servicios que impactan a escala regional y global trae aparejado un sinnúmero de problemas ambientales y un aumento en las erogaciones públicas asociadas a su remediación, así como una creciente negatividad por parte de la opinión pública respecto de la forma de producir alimentos.

¿Dónde producimos?

La respuesta a esta pregunta es relativamente simple, pero tiene implicancias que a menudo son desatendidas. Si bien la mayoría de los agrónomos y productores que gestionan el territorio saben que producen en el marco de agroecosistemas, muchas veces olvidan las reglas que afectan su funcionamiento y estructura. Diversos ejemplos locales y globales revelan hasta qué punto se han desatendido estas premisas ecológicas, con resultados adversos para nuestros sistemas de producción. El ejemplo de las malezas y la selección natural o la pérdida de materia orgánica y la ley de la conservación de las masas son algunos de los más conocidos.

En los últimos años, la intensificación convencional de la producción agropecuaria ha descuidado el mantenimiento de la diversidad, a pesar de que es bien sabido que ésta constituye uno de los pilares de estabilidad de los ecosistemas y, por ende, de los agroecosistemas. Es muy improbable que se construyan agroecosistemas simples (con pocas especies) y que éstos

sean capaces de mantener su estabilidad (por ejemplo, resistencia y resiliencia) frente a situaciones de estrés externas.

Para diseñar agroecosistemas estables que provean múltiples servicios ecosistémicos es necesario considerar las principales reglas y conocimientos desarrollados por la ecología. Desde un punto de vista ecológico, los agroecosistemas son considerados ecosistemas inmaduros, en contraposición a la mayoría de los ecosistemas naturales, que se consideran en un estado maduro. Por lo general, los inmaduros tienen lugar en la naturaleza luego de un disturbio (fuego, huracanes, etc.) que remueve biomasa y, por lo tanto, libera recursos. Por definición, estos ecosistemas poseen una elevada productividad primaria; con el correr del tiempo acumulan biomasa en troncos, hojas o semillas. Es así como los seres humanos hemos reemplazado muchos ecosistemas naturales maduros (bosques, pastizales, sabanas) por agroecosistemas inmaduros (a través del desmonte, laboreos o del uso de herbicidas), donde esta productividad puede ser cosechada. Para mantenerlos en ese estado es necesario realizar disturbios recurrentes utilizando energía externa al sistema, por lo general proveniente de combustibles fósiles. Sin embargo, los ecosistemas inmaduros (ya sean naturales o agroecosistemas) tienen propiedades ecológicas indeseables, como su baja diversidad, escasa interacción entre especies, baja resiliencia y ciclos de los nutrientes abiertos, entre otras características.

Por las razones mencionadas, los agroecosistemas dejan de proveer muchos servicios de regulación y soporte, tal como se comentaba anteriormente. Resulta crucial diseñarlos de manera tal que imiten algunas de las propiedades de los ecosistemas maduros y provean una mayor cantidad de servicios de regulación y soporte para revertir el deterioro ambiental y mantener la producción en el largo plazo. Para lograrlo es necesario analizar el ciclo de la materia, el flujo de la energía y el manejo de la biodiversidad, entendida como la información presente en

el sistema. A partir de estos conocimientos, será posible proveer una mayor cantidad de servicios ecosistémicos y evaluar mejor los compromisos que tienen lugar entre ellos.

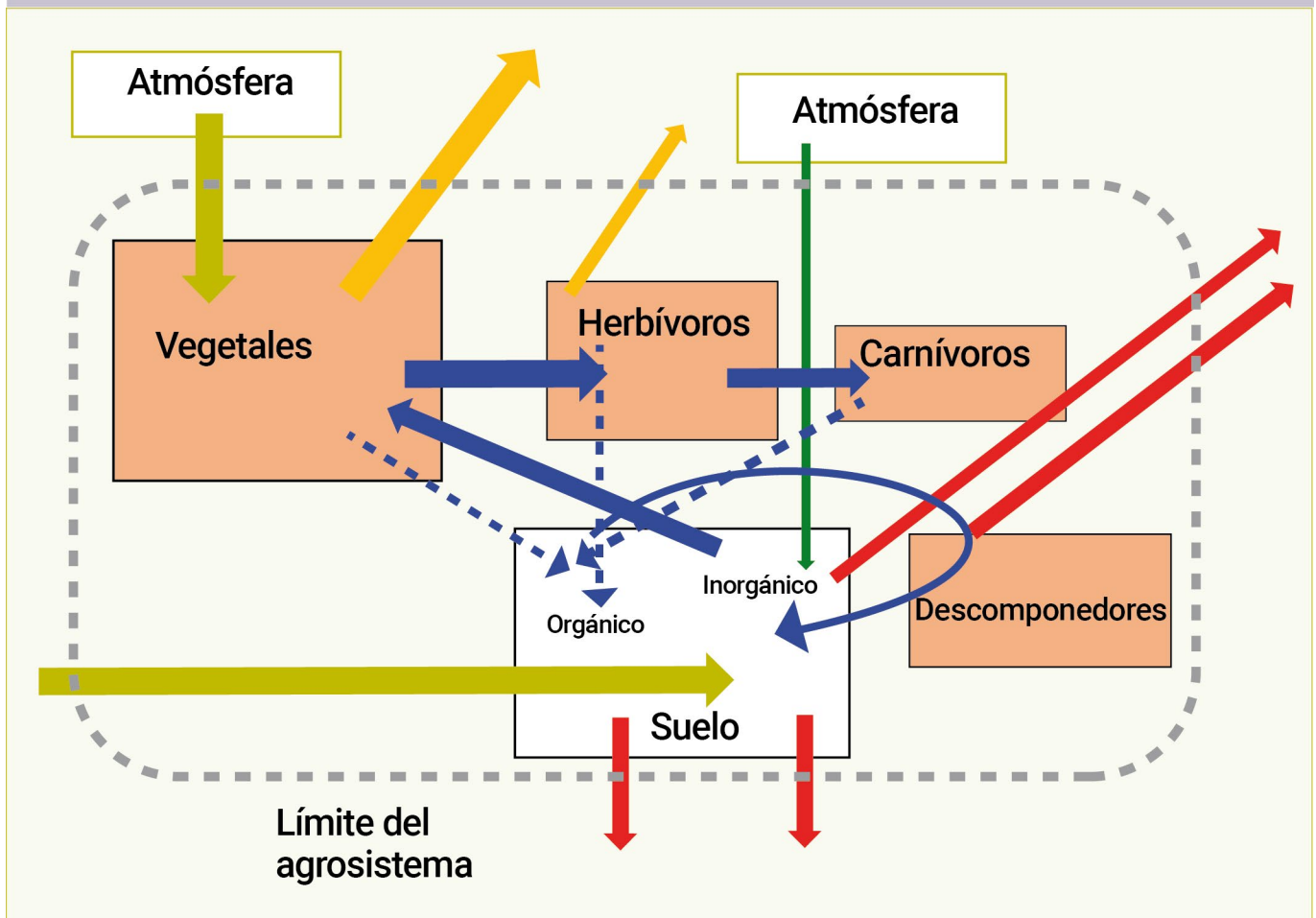
El ciclo de la materia en los agroecosistemas

El ciclo de la materia es un aspecto clave en el manejo de los agroecosistemas. Si bien ha sido repetido hasta el cansancio en diversos cursos de facultades de Agronomía, es, sin embargo, un aspecto escasamente considerado por los productores.

En los agroecosistemas, los ciclos de los nutrientes son abiertos porque intercambian mucha materia con el exterior (figura 3, pág. siguiente). Las salidas están dadas principalmente por la cosecha de los cultivos (flechas amarillas), pero también por las pérdidas provocadas por la falta de sincronización entre la oferta y la demanda de nutrientes (flechas rojas), además de la incapacidad del suelo para retenerlos. De esta manera, las reservas de nutrientes disminuyen con el tiempo. Su pérdida trae aparejados dos grandes problemas: por un lado, se reducen las reservas de nutrientes necesarias para seguir produciendo y, por otro, se produce una acumulación de esos nutrientes en otros ecosistemas (por lo general acuáticos) generando serios problemas en su funcionamiento.

La vía de reposición de los nutrientes perdidos en los agroecosistemas es variable; por ejemplo, si consideramos el caso del nitrógeno, se corresponde con los ingresos a través de la fertilización, la fijación biológica o las deposiciones atmosféricas (flechas verdes). En la región agrícola argentina estas entradas son generalmente menores respecto de las salidas, porque en general responden a la demanda del cultivo y sólo se realizan para continuar produciendo una vez que se agotan las reservas del suelo.

Figura 3. Ciclo de la materia en un agroecosistema.
Se toma como ejemplo el ciclo del nitrógeno.



Las flechas azules indican el reciclado interno del agroecosistema; las flechas rojas, las pérdidas; las amarillas, las extracciones por cosecha, y las verdes, las entradas.

La única forma de reponer de manera sostenible la extracción de nutrientes provocada por las cosechas consiste en lograr que la materia cicle entre el campo y los puntos de consumo de los productos cosechados, que generalmente son las ciudades o los corrales de alimentación de animales (*feed lots*, tambos). Para ello, deberíamos capturar los nutrientes contenidos en los residuos sólidos y líquidos de los puntos de consumo para volver a utilizarlos como fertilizante en los campos agrícolas. En la actualidad existen muchas tecnologías de reciclaje, pero su aplicación suele ser limitada, principalmente por razones de gobernanza y económicas. Sin embargo, este reciclaje constituye el eje central de la economía circular y es la única opción que permitiría mantener la producción agropecuaria a largo plazo y, al mismo tiempo, la provisión de diversos servicios ecosistémicos de regulación y soporte. Cualquier otra opción de fertiliza-

ción favorecerá probablemente un flujo de la materia en lugar de un ciclo, con lo cual habrá una disminución de los nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.) allí donde se los extraiga (por ejemplo, en depósitos mineros) y contaminación o problemas ambientales donde éstos se depositan o acumulan. Por lo tanto, aunque todavía pueda parecer algo difícil de lograr, deberíamos realizar nuestro máximo esfuerzo para intentar que la materia cicle, lo que en muchos casos exige la incorporación de las escalas de paisaje o continentales. La estrategia más adecuada para lograrlo dependerá del elemento considerado y de su biogeoquímica, ya que algunos nutrientes ciclarán fácilmente por la vía atmosférica (como el carbono), mientras que otros deberán ser transportados artificialmente debido a su ciclo sedimentario (fósforo).

Si bien la extracción de materia en la cosecha es inevitable, los agroecosistemas sufren asimismo otras pérdidas de nutrientes (flechas rojas) que pueden y deben ser evitadas. Estas pérdidas no sólo reducen el contenido de nutrientes disponibles para la producción agropecuaria, sino que además provocan contaminación en ambientes circundantes, generalmente cursos de agua, lagos y océanos. Para disminuir al mínimo estas pérdidas y parecerse a los ecosistemas naturales es necesario diseñar agroecosistemas donde la oferta y la demanda de nutrientes estén sincronizadas. Para ello, es necesario apartarse del paradigma actual de la fertilización orientada a la planta y pensar en una fertilidad orientada al ecosistema, basada en la nutrición del suelo para mantener altas las reservas de nutrientes y la energía almacenada en la materia orgánica. De este modo, se podría favorecer una liberación de nutrientes más acoplada con la demanda de los cultivos, debido a los diversos mecanismos que regulan la mineralización de la materia orgánica. A su vez, la materia orgánica del suelo desempeña un rol fundamental en la provisión de otros servicios ecosistémicos que soportan la producción de los cultivos: descompactación, aireación del suelo, retención de agua, etcétera).

Si se considera el manejo de los agroecosistemas argentinos, se advierte que la presencia de un único cultivo al año determina que la oferta de nutrientes generada por la descomposición de los residuos y la demanda de los cultivos se encuentre totalmente desacoplada. Por ejemplo, a principios de otoño, durante la senescencia y la cosecha de los cultivos de verano se produce una gran liberación de los nutrientes contenidos en tejidos vegetales. Si bien parte de esos nutrientes puede ingresar y ser almacenada en la materia orgánica del suelo, otra parte se pierde en forma inorgánica (lixiviación de nitratos o desnitrificación en el caso del nitrógeno). La cantidad de nutrientes que se pierde en ese momento depende de la calidad y cantidad de los residuos aportados y del estado de “salud” del suelo, lo que determinará su capacidad para retener o no dichos nutrientes (asumiendo que no hay cultivos de invierno que puedan tomarlos). Únicamente estos dos factores determinarán las pérdidas, ya que en ese momento no existe demanda de nutrientes procedente de otros cultivos (aunque sí podría haberlos; de hecho, suelen ser absorbidos por malezas).

A fines del otoño, durante el invierno y principios de la primavera se produce la descomposición de los residuos aportados por los cultivos de verano, lo que provoca que, en ausencia de malezas, se acumulen nutrientes en el suelo en formas inorgánicas (amonio, nitratos, fósforo, potasio, cloro, calcio, magnesio ¡y toda la tabla periódica!), las cuales son altamente propensas a perderse, saliendo del ecosistema para generar contaminación en los cursos de agua. Sincronizar la oferta de nutrientes inorgánicos derivada de la descomposición de residuos vegetales con la demanda generada por el crecimiento de otros cultivos debería ser un objetivo clave en el diseño de la fertilización y la rotación. En este sentido, la cantidad y calidad de los residuos aportados y la dinámica de la materia orgánica son aspectos centrales a comprender.

Buscamos nuestra mejor versión para que estés un paso adelante.

Con la precisión genética y tecnológica más avanzada de la industria aplicada a todo nuestro portafolio, garantizamos híbridos y variedades que tienen el mejor potencial y rendimiento del mercado.

¡Regresamos al campo argentino para impulsar la innovación!

CONOCÉ MÁS DE NUESTROS PRODUCTOS



Seguinos y enterate de nuestras últimas novedades.

 /nksemillas

 /NK Semillas

 /NKSemillas

 @NKSemillas



Impulsando la innovación.

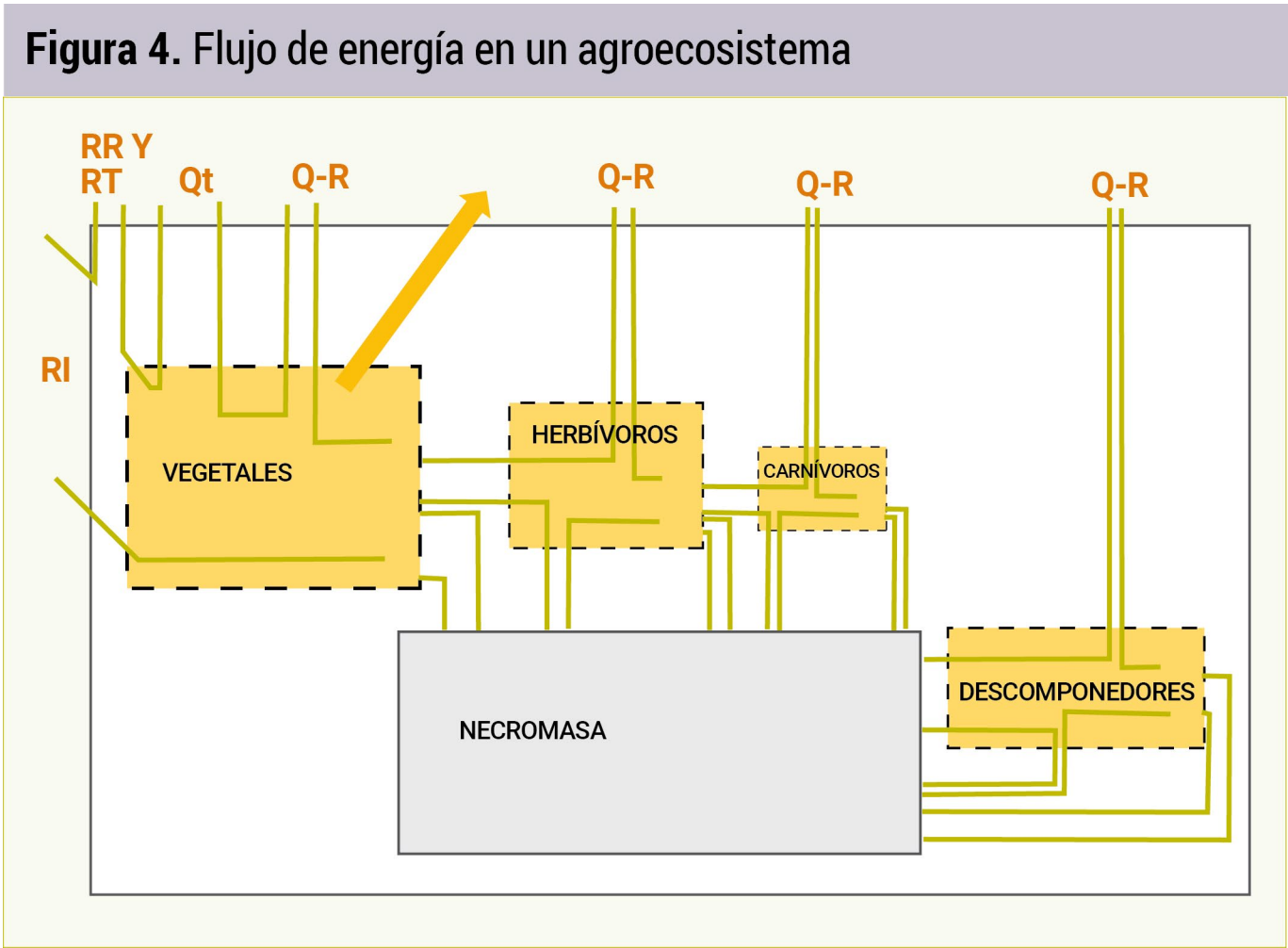
El flujo de la energía en los agroecosistemas

Así como la materia cicla en los ecosistemas, la energía del sol fluye a través de ellos, ingresando al ser absorbida por la vegetación, para egresar al disiparse como calor (figura 4). Con la cosecha se exportan nutrientes, pero también energía del agroecosistema. Es por la energía contenida en los alimentos (además de sus nutrientes) que éstos adquieren valor. Por lo tanto, el diseño de agroecosistemas se ha centrado en la obtención de la mayor cantidad de energía en productos cosechables (además de su calidad nutricional, por supuesto). Sin embargo, se ha descuidado la necesidad de energía que el sistema en sí mismo necesita para seguir funcionando. A modo de ejemplo, la cosecha excesiva de granos o biomasa puede ocasionar una disminución importante en la cantidad de residuos aportados al suelo y, por ende, una pérdida de materia orgánica y una disminución de las poblaciones de descomponedores, lo que impactará en un menor reciclado de nutrientes. A su vez, la menor producción de raíces por los cultivos, seleccionados principalmente para producir órganos aéreos cosechables, también provocará una disminución en la cantidad de energía que queda en el suelo (necromasa en figura 4). De la misma manera, la eliminación total de los herbívoros (insectos, etcétera) provocará la muerte de las poblaciones de carnívoros (sus enemigos naturales), ya que no les llegará energía suficiente para su mantenimiento.

Es importante destacar que nunca será deseable cosechar y extraer del agroecosistema toda la energía capturada mediante la fotosíntesis. Es indispensable que una parte de ella permanezca en él para que pueda realizar sus funciones vitales y de mantenimiento (los servicios de regulación y soporte). Por ejemplo, para mantener el servicio de control de la erosión es necesario destinar energía a la generación de biomasa -viva o muerta- que cubra y proteja al suelo de la lluvia; para reponer el nitrógeno cosechado, hay que destinar energía para que las

leguminosas fijen nitrógeno del aire, y para generar materia orgánica habrá que destinar energía para construirla y alimentar a los organismos descomponedores del suelo. Por las razones mencionadas, al diseñar cualquier agroecosistema hay que tener la precaución de dejar una parte de la energía y canalizarla de la manera más eficiente para la provisión de los servicios de regulación y soporte.

En este sentido existe una gran oportunidad, ya que en muchos agroecosistemas la captura de energía y nutrientes es muy ineficiente, debido fundamentalmente a su propia inmadurez y a la frecuencia de los disturbios. Como consecuencia, se desaprovecha la energía incidente y se pierden recursos. La posibilidad de corregir esta situación reside en la incorporación de un enfoque de sistemas (complejos) al diseño de agro-



Referencias: RI= radiación incidente, RR y RT= radiación reflejada y transmitida, Q_t = calor liberado por los vegetales antes de hacer fotosíntesis, $Q-R$ = calor liberado durante la respiración de los vegetales, herbívoros, carnívoros o descomponedores, respectivamente.
Fuente:Guía de Ecología, Facultad de agronomía, Universidad de Buenos Aires.

ecosistemas, por ejemplo, a partir de la inclusión de cultivos de servicios, especialmente pensados para capturar energía y destinarla a la restauración de sus funciones vitales. De todas maneras, es importante considerar que la cantidad de energía que se pueda cosechar y la que se debe dejar en el agroecosistema dependerá de las condiciones ambientales (suelos, clima, etc.), que también deberán ser consideradas en su diseño.

Dentro del paradigma de la Revolución Verde, los subsidios de energía externos al sistema (como el laboreo, la fertilización, la aplicación de herbicidas, etc.) fueron concebidos principalmente para maximizar la producción cosechable; sin embargo, deberían ser repensados para canalizar una porción de esa energía hacia la provisión de servicios de regulación y soporte. A largo plazo, éstos favorecerán una reducción en el uso de subsidios o de insumos, ya que muchas de las funciones del ecosistema se realizarán utilizando la energía proveniente del sol y no de subsidios externos (por ejemplo, el suministro de nutrientes por la materia orgánica del suelo, el control de plagas a través de enemigos naturales).

Es importante tener en cuenta que el funcionamiento de los ecosistemas exige necesariamente un consumo de energía, como el metabolismo basal de cualquier sistema; por lo tanto, no será posible lograr su funcionamiento y sostenibilidad a largo plazo sin destinar energía a tal fin. El paradigma de la Revolución Verde parte del supuesto de que esta energía debe ser externa al sistema (subsidios de energía e insumos); sin embargo, deberíamos orientarnos hacia una concepción en la cual la energía solar capturada por el propio agroecosistema sea canalizada hacia estos servicios de regulación y soporte que permiten su mantenimiento, pero también, a escalas mayores, el de los paisajes circundantes y, finalmente, de la biosfera. Para ello, tal como se describe a continuación, es importante pensar en los procesos del agroecosistema y en el manejo de la información contenida en él.



Crece juntos



NIDERA
SEMILLAS

Para conocer más sobre nosotros
ingresa en ***niderasemillas.com.ar***

Información, la clave para el manejo

La mayoría de los textos de ecología considera al ciclo de la materia, al flujo de la energía y a la diversidad como componentes centrales de los ecosistemas naturales. La diversidad es, entonces, entendida como información capaz de realizar trabajo o de ejercer funciones dentro de un ecosistema. Por ejemplo, la presencia de ciertas especies de leguminosas le confiere a éste la capacidad de fijar nitrógeno, mientras existan las especies de rizobios adecuadas. De no existir ambas especies, la información necesaria para la realización de este proceso no existiría en el ecosistema. Es así como la biodiversidad (información) contenida en él resulta clave para regular el ciclo de la materia y el flujo de la energía; es decir, la estructura y el funcionamiento del ecosistema.

Ampliando este concepto, los ecosistemas también poseen información del ADN de las especies, por ejemplo, en la estructura del suelo, que fue generada durante la patogénesis. De este modo, el arreglo espacial de la materia también puede ser considerado información contenida en el ecosistema. Sin embargo, el marco teórico para la inclusión de la información como un componente central de los ecosistemas es aún incipiente y fragmentado. No obstante, puede ayudar a comprender mejor su estructura y funcionamiento, y a reformular su diseño.

Es posible pensar que, dentro de los agroecosistemas, la información se encuentra contenida en el ADN de las especies, en sus interacciones y en la estructura del suelo; sin embargo, también existe gran cantidad de información nueva involucrada en insumos y procesos aportados por los seres humanos (figura 5). De alguna manera, es el productor quien decide qué información nueva agregará al sistema (especies, moléculas, etc.) y qué información eliminará (vegetación natural, microorganismos, etc.). Al agregar herbicidas o insecticidas se incorporan moléculas nuevas o información que no existía previamente en

el sistema, mientras que se elimina información no deseada (por ejemplo, malezas) con el objetivo de obtener más productos cosechables. De la misma manera, el laboreo o el diseño de una nueva rotación afecta a la información contenida en el agroecosistema y determina muchos de sus procesos.

Desde este punto de vista, el agregado de información a los ecosistemas siempre se focalizó en la obtención de servicios de abastecimiento y no en el mantenimiento de servicios de regulación y soporte. El desafío actual consiste en agregar o preservar la información necesaria para sostener a estos últimos. En este sentido, se debe pensar en los objetivos y las consecuencias de la información que se incorpora y de la que permanece en el sistema, apuntando a incrementar el uso de tecnologías de procesos en detrimento de las de insumos. Para ello, es necesario realizar nuevas investigaciones, por ejemplo, respecto del rol que desempeñan los cultivos en la provisión de servicios de regulación y soporte, ya que el mejoramiento genético posterior a la Revolución Verde ha generado cultivos con la información



necesaria para producir alimentos, pero no para defenderse de los herbívoros o competir con las malezas. Identificar la información necesaria para reducir los compromisos en la asignación de recursos, tanto a escala de planta como de ecosistema, será clave para incluir en los agroecosistemas la información necesaria para lograr su sostenibilidad a largo plazo.

Un nuevo paradigma

Si se considera el marco general de la producción agropecuaria es posible pensar en la construcción de un nuevo paradigma. El modelo preponderante en la actualidad se basa en los principios de la Revolución Verde, caracterizada por una mirada reduccionista y un elevado uso de insumos.

En los últimos años, debido al evidente impacto ambiental y a la presión de la sociedad, ciertos productores han incorporado nuevos insumos o prácticas de manejo tendientes a reducir las “externalidades” del sistema. Entre ellas, figura la construcción de terrazas para disminuir la erosión, el uso de fertilizantes de liberación lenta, insecticidas biológicos y otros insumos, la utilización de herbicidas de menor toxicidad para mamíferos o la aplicación de fertilizantes orgánicos, entre muchas otras. Ahora, si bien estas prácticas mejoran sustancialmente el impacto ambiental negativo de los sistemas agropecuarios, no están en general orientadas a recomponer los servicios de regulación y soporte de los ecosistemas. Su objetivo central sigue siendo maximizar la producción de servicios de abastecimiento, poniendo “parches” de manejo para morigerar su impacto ambiental.

El nuevo paradigma agropecuario debería basarse en el diseño de agroecosistemas con múltiples objetivos de producción, como la provisión de servicios ecosistémicos, tanto de abastecimiento, como culturales y de regulación y soporte (figuras 2

y cuadro 1). Para realizar este cambio, es necesario incorporar verdaderamente la visión de “sistema”, tantas veces promulgada en diversos ámbitos científicos. Además, es necesario conocer el funcionamiento de los ecosistemas naturales de la región, ya que es intentando simular sus procesos que se obtendrán muchos de los servicios de regulación y soporte (similares tasas de evaporación, cantidad y calidad de materia orgánica del suelo, estacionalidad de la producción vegetal, etcétera).

La transición hacia este nuevo paradigma será difícil al comienzo, pero diversas experiencias muestran que luego los agroecosistemas mejoran notablemente. Su complejidad no debe desalentar al productor; es sabido que el manejo de los sistemas simples es, finalmente, complicado por su baja información y su gran inestabilidad.

El diseño debe involucrar una alta cantidad y complejidad de información, pero intentando que su manejo sea sencillo, una constante en el desarrollo de tecnologías. Es necesario incentivar la intensificación ecológica o sostenible, las buenas prácticas agrícolas, la agroecología o cualquier corriente que ayude a diseñar agroecosistemas que provean múltiples servicios ecosistémicos sobre la base del manejo de la información y de los procesos asociados, reduciendo el uso de insumos. En este diseño, la incorporación de objetivos económicos y sociales es clave, si bien no han sido tratados en profundidad en este capítulo. Debemos aspirar a que nuestros socioecosistemas sean justos y equitativos: tal vez de esa manera se logre la tan ansiada aprobación de toda la sociedad.

Cuadro 1. El paradigma actual y el nuevo paradigma de producción agropecuario.	
Paradigma actual	El nuevo paradigma
Objetivo único: la producción de alimentos	Objetivos múltiples: producción de servicios ecosistémicos de abastecimiento, culturales y de regulación y soporte.
“Parches” ambientales para reducir externalidades	
Alto uso de insumos	Bajo uso de insumos
Visión reduccionista	Visión sistémica

Bibliografía

Blanco-Canqui, H., Shaver, T.M., Lindquist, J.L., Shapiro, C.A., Elmore, R.W., Francis, C.A., Hergert, G.W. "Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils". *Agron. J.* 107, 2449–2474. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0086>. 2015.

Caride, C., Piñeiro, G., Paruelo, J.M. "How does agricultural management modify ecosystem services in the argentine Pampas? The effects on soil C dynamics". *Agric. Ecosyst. Environ.* 154, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.031>. 2012.

Chapin, F.S., Matson, P. a, Mooney, H. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology, System*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9>. 2002.

Chapin, F.S., Matson, P.A., Vitousek, P.M. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9>. 2012.

Crews, T.E., Rumsey, B.E. "What agriculture can learn from native ecosystems in building soil organic matter: A review". *Sustain.* 9, 1–18. <https://doi.org/10.3390/su9040578>. 2017.

Daily, G.C. *Nature's services*. Island Press, Washington D.C. 1997.

Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K.M.A., Baste, I.A., Brauman, K.A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P.W., van Oudenhoven, A.P.E., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bukvareva, E., Davies, K., Demissew, S., Erpul, G., Failler, P., Guerra, C.A., Hewitt, C.L., Keune, H., Lindley, S., Shirayama, Y. "Assessing nature's contributions to people". *Science* (80-.). <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>. 2018.

Elser, J., Bennett, E. "Phosphorus cycle: A broken biogeochemical cycle". *Nature* 478, 29–31. <https://doi.org/10.1038/478029a>. 2011.

Foley, J. a, Defries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E. a, Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J. a, Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K. "Global consequences of land use". *Science* 309, 570–4. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>. 2005.

Gaudin, A.C.M., Tolhurst, T.N., Ker, A.P., Janovicek, K., Tortora, C., Martin, R.C., Deen, W. "Increasing crop diversity mitigates weather variations and

improves yield stability". *PLOS One*. 2015.<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113261>

Jasieniuk, M., Brûlé-Babel, A.L., Morrison, I.N. "The Evolution and Genetics of Herbicide Resistance in Weeds". *Weed Sci*. <https://doi.org/10.1017/s0043174500093747>. 1996.

Jørgensen, S.E., Svirezhev, Y.M. "Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems", *Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems*. 2004. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044166-5.X5000-9>

Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L., Schösler, H. Transition towards circular economy in the food system. *Sustain*. 2016. <https://doi.org/10.3390/su8010069>

Marald, E. Everything circulates: "Agricultural chemistry and recycling theories in the second half of the nineteenth century". *Environ. Hist. Camb*. 2002. <https://doi.org/10.3197/096734002129342602>

Margalef, D.R. *Information theory in ecology*. 1957.

Martín López, B., González, J.A., Vilardy, S., Martín-López, B., González, J.A., Vilardy, S. Ciencias de la sostenibilidad: guía docente, Formación avanzada en *Ciencias de la Sostenibilidad: fortaleciendo las capacidades locales para gestionar el cambio global*. 2012.

Matson, P. a, Parton, W.J., Power, a G., Swift, M.J. "Agricultural intensification and ecosystem properties". *Science* 277, 504–9. 1997.

Millenium Ecosystem Assessment, 2003. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Summary. Isl. Press. Washington, DC. [https://doi.org/Cited By \(since 1996\) 1\Export Date 12 August 2012](https://doi.org/Cited%20By%20(since%201996)%201%20Export%20Date%2012%20August%202012)

Nixon, S., Ammerman, J., Atkinson, L., Berounsky, V., Billen, G., Boicourt, W., Boynton, W., Church, T., Ditoro, D., Elmgren, R., Garber, J., Giblin, A., Jahnke, R., Owens, N., Pilson, M., Seitzinger, S. "The fate of nitrogen and phosphorus at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean". *Biogeochemistry* 35, 141–180. 1996. <https://doi.org/10.1007/bf02179826>

Odum, E.P. "The Strategy of Ecosystem Development An understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature". *Adv. Sci*. 164, 262–270. 1969. <https://doi.org/10.1126/science.164.3877.262>

Ostrom, E. "A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems". *Science* (80-.). 2009. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>

Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P. a, Naylor, R., Polasky, S. "Agricultural sustainability and intensive production practices". *Nature* 418, 671–7. , 2002. <https://doi.org/10.1038/nature01014>

Tilman, D., Downing, J.A. "Biodiversity and stability in grasslands". *Nature*. 1994. <https://doi.org/10.1038/367363a0>

Vitousek, P.M., Naylor, R., Crews, T. "Nutrient imbalances in agricultural development". *Science* (80-.). 324, 1519–1520. 2009. <https://doi.org/10.1126/science.1170261>

3

Cultivos de servicios e intensificación



Dr. Octavio Caviglia

*Facultad de Ciencias Agropecuarias,
Universidad Nacional de Entre Ríos y Conicet.*

La creciente demanda de alimentos, fibras y biocombustibles permite estimar una presión progresiva sobre las tierras más productivas a nivel global, ya que existen pocas posibilidades de incorporar nuevas tierras para la agricultura. La Argentina, tal como ocurre con otros países de Sudamérica, tiene un alto potencial para enfrentar el desafío de suplir una parte importante de las demandas proyectadas, lo que podría generar un importante ingreso de divisas para el país. Sin embargo, la situación actual de los sistemas agrícolas argentinos, en especial en lo que respecta a los aspectos económicos, ambientales y sociales genera importantes interrogantes acerca de la posibilidad de enfrentar dicho desafío en forma exitosa.

Los sistemas agrícolas de la región pampeana se caracterizan principalmente por una baja eficiencia en el uso de los recursos (agua, radiación solar y nutrientes), una insuficiente reposición de los nutrientes extraídos por los cultivos, un elevado uso de productos fitosanitarios, un bajo retorno de residuos de cosecha al suelo y un escaso o nulo progreso en los rendimientos medios de los principales cultivos durante los últimos 15 años.

La particular configuración de las secuencias agrícolas de la región, basadas fundamentalmente en el cultivo de soja, ha sido asociada a numerosas consecuencias que involucran la degradación de los suelos por un balance negativo de carbono, erosión hídrica y una reducción de la fertilidad, provocada tanto por las pérdidas de suelo como por la baja reposición a través de la fertilización o del uso de enmiendas. Además, dicha configuración estaría involucrada en otras consecuencias ambientales detectadas fuera del sistema, como excesos hídricos, depósito de sedimentos y presencia de residuos de fitosanitarios en suelo, el agua y el aire.

Dentro de un contexto de cambio climático global, otros factores que caracterizan a los sistemas agrícolas de la región

pampeana argentina y le confieren un carácter de excepción a nivel mundial son los siguientes: i) una gran proporción de la producción se desarrolla sobre tierras alquiladas (60-80%), con un sistema de contratos de corta duración (habitualmente de un año), que por lo general se acuerdan sobre la base de una cantidad fija de quintales de soja por hectárea; ii) una elevada presión impositiva (el argentino es uno de los sistemas agrícolas más gravados del mundo), y iii) una gran inestabilidad política y económica.

También existe una preocupación social creciente respecto del impacto de la producción agropecuaria sobre el ambiente y una escalada del conflicto urbano-rural que, directa o indirectamente, condiciona la continuidad de los actuales sistemas productivos.

En los últimos 200 años los sistemas agrícolas de la región pampeana argentina han seguido un camino de simplificación creciente. Durante la transición desde su condición de ecosistemas naturales hasta los actuales agroecosistemas (basados en cultivos estivales con una predominancia marcada de la soja) han perdido muchas de las propiedades conocidas como *servicios ecosistémicos*. Estos servicios están orientados a mejorar el bienestar humano y se clasifican en *servicios de provisión* (alimentos, fibras, madera, insumos para la industria), *de regulación* (del clima, de las inundaciones, de enfermedades, de purificación del agua, etcétera), *culturales* (recreación, estéticos, educacionales) y *de soporte*. Estos últimos son esenciales para brindar los tres servicios precedentes (formación de suelo, reciclado de nutrientes, etcétera).

En consecuencia, los desafíos de la agricultura para los próximos años son: a) incrementar la producción agropecuaria por unidad de superficie; b) mejorar la eficiencia de uso de recursos e insumos sobre una superficie similar a la actual; c)

mejorar la estabilidad de la producción ante el cambio climático; d) reducir el impacto de la agricultura sobre el ambiente; e) restaurar los servicios ecosistémicos perdidos durante el proceso de simplificación; f) mejorar la opinión social respecto de la agricultura; g) generar estrategias agronómicas realistas, adoptables y adaptables para todos los productores, y h) desarrollar nuevos marcos conceptuales que exigen un enfoque interdisciplinario.

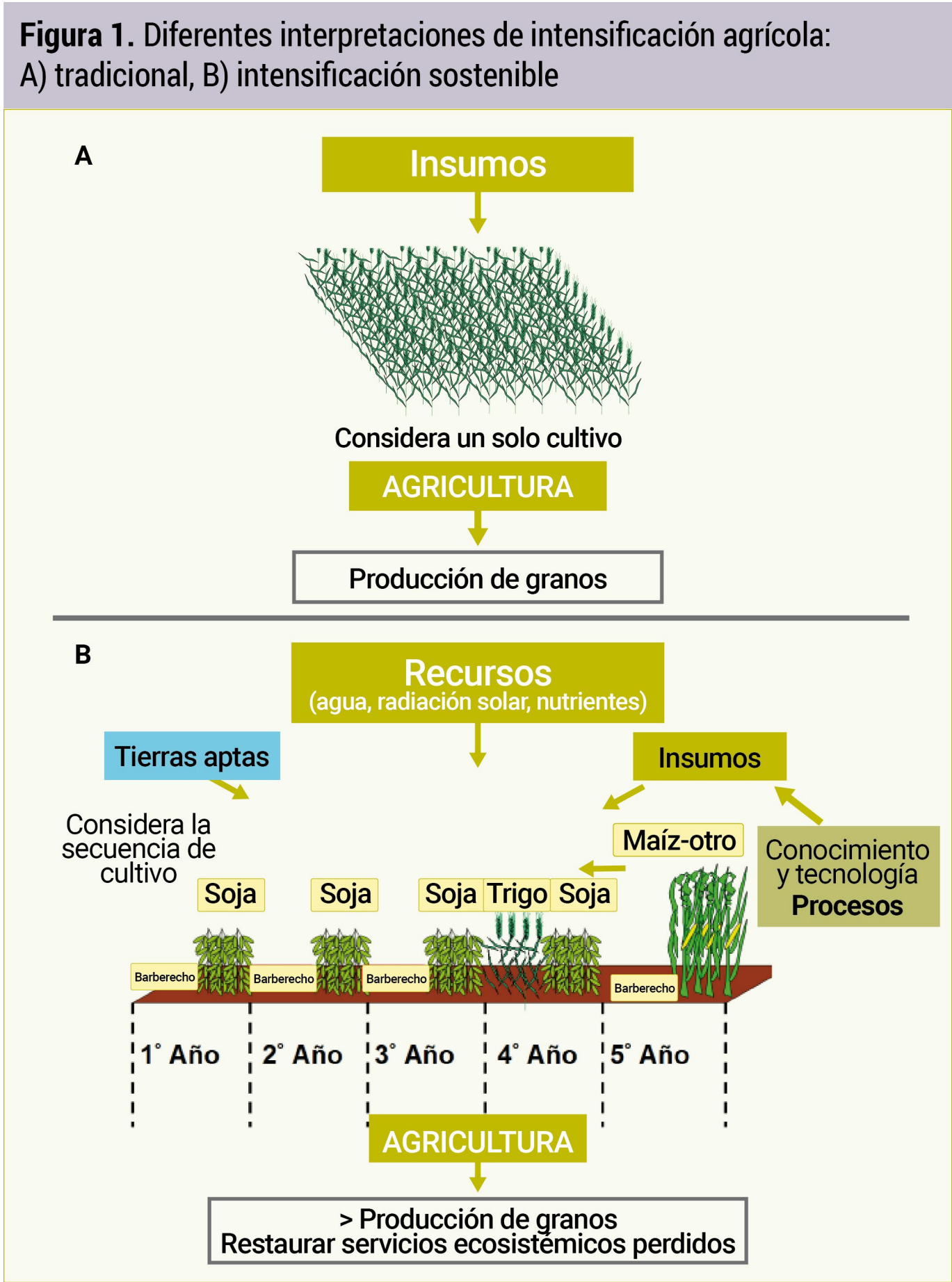
Intensificación sostenible

El escenario definido en la sección previa indica la necesidad de disponer de propuestas que permitan enfrentar los futuros desafíos de la agricultura argentina, entre los que claramente se destaca la intensificación sostenible de los sistemas.

El significado del término *intensificación agrícola* es bastante controvertido y está sujeto a diferentes interpretaciones. Sin embargo, en todo el rango de posibles interpretaciones siempre está implícita la mejora del rendimiento agrícola por unidad de superficie y de tiempo. La interpretación tradicional supone que la intensificación incluye cualquier aumento en la productividad a través de un mayor uso de insumos, sin una preocupación explícita respecto de la sostenibilidad del sistema, la conservación de los recursos naturales circundantes y del bienestar y la salud de la población rural y urbana (Figura 1A, pág. siguiente).

El significado del concepto de intensificación está fuertemente asociado a la economía clásica y refiere a un uso más intenso de los factores de producción; es decir, de la tierra, del trabajo humano y del capital. Dentro de la concepción tradicional de la intensificación a menudo se reconoce que, implícita en este proceso, la especialización o simplificación en la producción ha ido en aumento, lo que resulta en una simplificación de la rotación que tiende al monocultivo. Sin embargo, también existen

otros puntos de vista, como el de Boserup (1987), que la define como “un cambio gradual en el uso de la tierra que hace posible el cultivo en un área determinada con más frecuencia que antes”. Esta definición implica el uso de períodos de barbecho menores o más cortos.



Fuente: Adaptado de Caviglia y Andrade (2010).

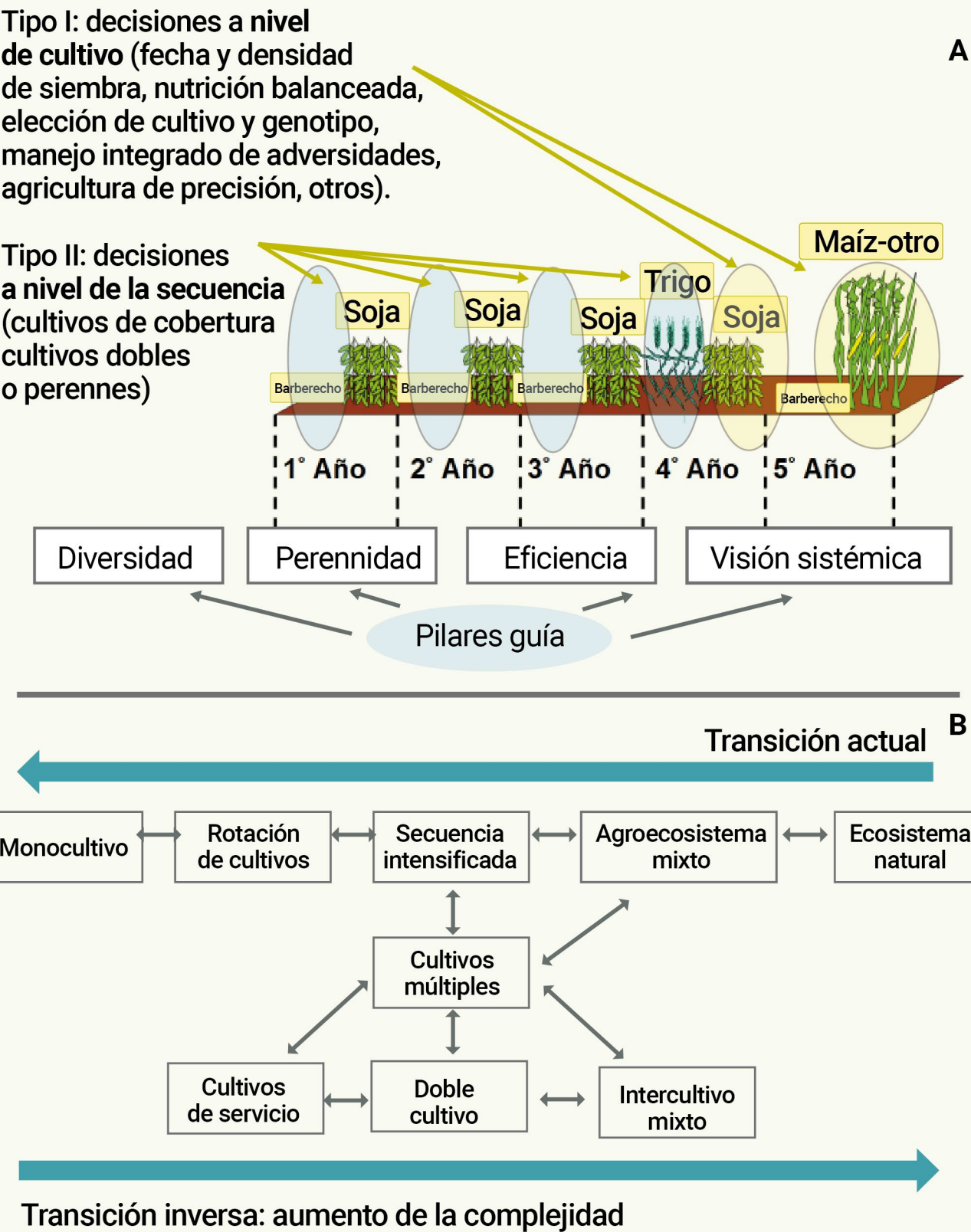
En contraposición, la intensificación sostenible de la agricultura se puede definir como un proceso que busca incrementar los rendimientos y restaurar los servicios ecosistémicos perdidos durante el proceso de simplificación (figura 1B). Como tal, está orientado a aumentar el rinde de los cultivos por unidad de superficie y de tiempo utilizando más intensamente los recursos del ambiente (agua, radiación solar, nutrientes) sobre las tierras de mayor aptitud agrícola para evitar el avance sobre sectores de mayor fragilidad ambiental.

Para cumplir con las premisas enunciadas en esta definición, la intensificación sostenible de la agricultura debe asentarse en cuatro pilares-guía fundamentales (Figura 2A, pág. siguiente): *la diversidad, la perennidad, la eficiencia y la visión sistémica*. Estos pilares-guía están sustentados en principios ecológicos que exigen la adaptación del manejo a las condiciones locales de cada ambiente. El uso de conceptos ecológicos en la agronomía introduce herramientas novedosas orientadas a un cambio de paradigma que permite compatibilizar la producción con el cuidado del ambiente y sirve de guía para diseñar sistemas mejorados a través de una transición inversa (Figura 2B) que permita recuperar los servicios ecosistémicos perdidos.

A su vez, las estrategias agronómicas de intensificación sostenible para la región pampeana argentina pueden clasificarse en dos categorías: I) *la aplicación de un conjunto de prácticas de manejo a nivel del cultivo* (como la fertilización balanceada, la rotación de cultivos, el manejo integrado de adversidades bióticas, el uso de terrazas para conservar el suelo y el agua, el manejo de rastrojos y del barbecho, la elección del cultivo y del genotipo a utilizar, la correcta elección de fecha, densidad y distanciamiento entre hileras de siembra, el uso de agricultura de precisión, entre otros), y II) *el incremento del número de cultivos por unidad de tiempo en las secuencias* (Figura 2A).

Las estrategias de tipo I son similares a las definidas como buenas o mejores prácticas de manejo (BMP, por sus siglas en inglés *Best Management Practices*), ya que “incluyen prácticas de conservación del suelo y del agua en combinación con otras prácticas y acciones sociales que son desarrolladas

Figura 2. A) Estrategias agronómicas y pilares-guía de intensificación sostenible en la región pampeana argentina.
B) Tendencias actuales y posibles transiciones entre sistemas.



para una región en particular como herramientas prácticas y efectivas de protección ambiental” (Sharpley *et al.*, 2006). Sin embargo, estas estrategias no contemplan únicamente una dimensión ambiental, sino que, además, buscan mejorar la eficiencia y la productividad del sistema.

Por su parte, las estrategias de tipo II buscan incrementar la cantidad de cultivos por unidad de tiempo, mejorando la diversidad y la perennidad a nivel de sistema (visión sistémica) para aprovechar una mayor cantidad del agua procedente de las lluvias y la radiación solar incidente (eficiencia). El doble cultivo trigo/soja y el uso de cultivos de cobertura invernales previos a un cultivo estival son las prácticas de tipo II más habituales en la región pampeana. Sin embargo, existen otras configuraciones posibles que amplían las opciones para la estrategia tipo II, como la combinación de cultivos invernales como colza, arveja, garbanzo y cebada con cultivos estivales de segunda, como soja, maíz, sorgo y girasol, así como la combinación de diferentes especies de cultivos de cobertura con cultivos estivales realizados en su fecha óptima o retrasada. Asimismo, la inclusión de cultivos perennes (alfalfa, festuca, tréboles, etc.) para la producción de forraje dentro de un sistema agrícola también es considerada una estrategia de tipo II y constituye una práctica de mayor impacto que el uso de cultivos dobles para cumplir con el pilar-guía de la perennidad.

Debido a que los cultivos de cobertura invernales se siembran con la intención de que brinden un servicio específico que se considera necesario para un sistema determinado (fijar nitrógeno, aportar materia seca, controlar malezas, consumir agua de la napa, capturar nutrientes remanentes, descompactar el suelo) y no suelen generar un servicio de provisión, han sido denominados *cultivos de servicios*.



Creando Oportunidades

Productos que se adaptan a las necesidades de **tu campo**

- Financiación de Ciclos Ganaderos
- Líneas de inversión productiva
- Líneas de crédito en dólares
- Convenios especiales
- Tarjeta BBVA Agro LATAM Pass



Conocé más

Para más información escribinos a agro-arg@bbva.com o ingresá en www.bbva.com.ar

Otorgamiento sujeto a aprobación crediticia. Ver términos y condiciones del programa LATAM Pass en www.latam.com. Los accionistas de Banco BBVA Argentina S.A. limitan su responsabilidad a la integración de las acciones suscriptas a las leyes 19.550 y 25.738. CUIT: 30-50000319-3. Av. Córdoba 111, piso 31, CABA (CP: C1054AAA).



Balance hídrico

La realización de cultivos durante el invierno, como principal estrategia de tipo II, podría reducir la disponibilidad de agua para los cultivos estivales de mayor rentabilidad, por lo que su análisis resulta crítico para evaluar el riesgo de intensificar las secuencias de manera realista. La mayor parte de la información proveniente del metaanálisis o de revisiones realizadas a partir de amplias bases de datos provenientes de la región pampeana argentina, indica que el rendimiento de los cultivos estivales precedidos o no por un cultivo de servicio son similares. En efecto, Álvarez *et al.* (2017) reportan una reducción del rinde menor de 5% para la soja y un incremento menor de 10% para maíz (con cultivo de servicio leguminoso previo) al compararlos con testigos sin cultivo de servicio previo.

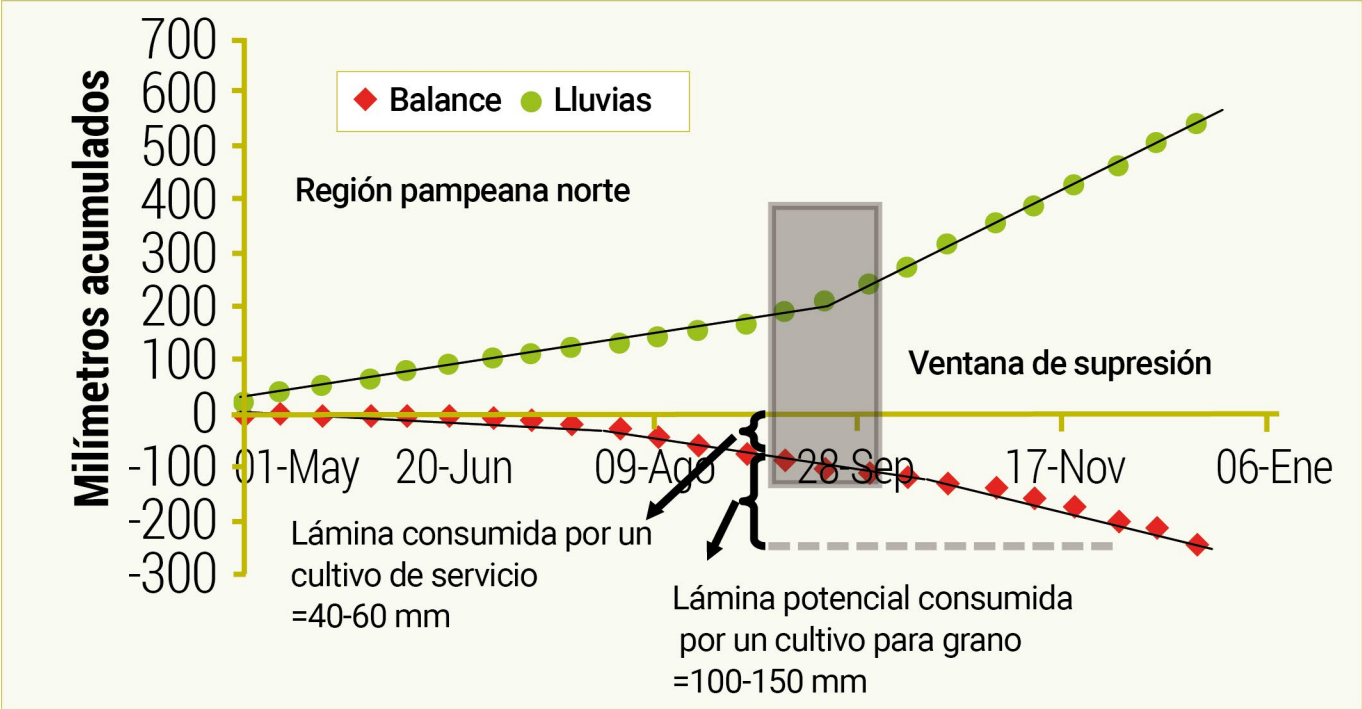
Sin embargo, hay que considerar que la intensificación de las secuencias tiene un profundo impacto sobre los componentes del balance hídrico. En secuencias intensificadas, la evapotranspiración de los cultivos se incrementa en la misma medida en que se reducen las pérdidas por escurrimiento, por evaporación desde el suelo y probablemente por drenaje profundo. Esto tiene consecuencias sobre la eficiencia del sistema, pero también sobre la reducción de procesos degradativos del ambiente. En efecto, los excesos de agua de lluvia que no son aprovechados por la vegetación suelen ser responsables de numerosos problemas ambientales como la erosión hídrica o el escurrimiento y lavado de nutrientes, materia orgánica y residuos de agroquímicos hacia cursos de agua superficiales y subterráneos, entre otros.

Para analizar este aspecto clave de la intensificación es necesario definir con claridad el ambiente durante la estación otoño-invernal, momento en que se propone intervenir sobre el sistema incluyendo cultivos durante un período que comúnmente es destinado al barbecho. Durante la estación oto-

ño-invernal (que se extiende desde el 1° de mayo hasta el 30 de septiembre) las lluvias en la región pampeana varían entre 100 y 300 milímetros según zonas, lo que representa entre un 12 y un 31% de las precipitaciones anuales. Sin embargo, la característica más importante es la baja pluviometría por evento. En efecto, en este período la cantidad de lluvias promedio por evento rara vez supera los 10 milímetros. En este contexto, es esperable que las lluvias humedezcan el suelo a nivel superficial sin ser almacenadas en el perfil, ya que quedan expuestas a las pérdidas por evaporación. Por lo tanto, la inclusión de cultivos de servicios no resultaría en un deterioro importante de las reservas de agua, si es que la supresión se realiza durante la ventana óptima para cada zona.

La ventana de supresión de los cultivos de servicio (mecánica o química) puede definirse, para una zona determinada, sobre la base de dos variables meteorológicas de fácil disponibilidad: las lluvias acumuladas durante el período otoño-invernal y el balance hídrico-climático (diferencia entre lluvias y evapotranspiración potencial, ET0) en el mismo período. Por ejemplo, en el norte de la región pampeana este período tiene

Figura 3. Balance hídrico y precipitaciones acumuladas en función de la ventana de supresión en la región pampeana norte



lugar a fines de septiembre (figura 3). Este análisis también es útil para evaluar el impacto sobre el balance hídrico de la inclusión de cultivos invernales de grano (ver lámina potencial consumida en figura 3).

Indicadores de intensificación tipo II

Para la caracterización y el seguimiento de los sistemas intensificados se propone el uso de diversos índices. Utilizados en conjunto, estos indicadores permiten evaluar la evolución del sistema y tomar decisiones que permitan alcanzar las metas establecidas en cuanto a los pilares-guía. Dichas metas dependen del ambiente (principalmente del clima y del suelo) y de la naturaleza del sistema productivo (agrícola, mixto, etcétera), condicionada por el régimen de tenencia de la tierra (campo propio o alquilado bajo diferentes tipos de contrato).

Índice de intensificación de la secuencia (IIS)

Este indicador deriva de un antiguo índice, de utilización sencilla e intuitiva, que se calculaba como el número de cultivos por año en una secuencia determinada. Debido a que presentaba problemas cuando se incluían cultivos de servicio, cultivos perennes o intercultivos se propuso el nuevo *índice de intensificación de la secuencia (IIS)* basado en la relación entre el número de semanas (o días) con cobertura de cultivo verde y la duración total de la secuencia. Es recomendable considerar la duración de la secuencia de cultivos en términos de año calendario, comenzando el 1° de mayo del año en que comienza la secuencia hasta el 30 de abril del año en que ésta finaliza. Por ejemplo, para un monocultivo de soja, la duración de la secuencia se extendería desde el 1° de mayo del año en que se siembra el cultivo hasta el 30 de abril del año siguiente. Para una secuencia trigo/soja de segunda-maíz la duración de la secuencia sería desde el 1° de mayo del año en que se siembra el cultivo de trigo hasta el 30 de abril del

año en que se cosecha el maíz (ver ejemplo en la secuencia presente en la figura 2A).

$$IIS= \frac{\text{Semanas (o días) con cobertura verde}}{\text{Semanas (o días) de duración de la secuencia}} \quad [1]$$

Productividad de las precipitaciones (Ppp)

Este indicador refleja la habilidad del sistema para transformar las precipitaciones anuales en grano. Se recomienda considerar la duración de la secuencia sobre una base anual, tal como se detalló en el caso del IIS (ver figura 2A).

El rendimiento se calcula como la sumatoria del rinde de los cultivos o de la materia seca aérea producida (aplicable a sistemas mixtos). Si se desea considerar el contenido energético de los granos que componen una secuencia se lo puede transformar en equivalentes glucosa dividiendo el rendimiento de soja por 0,55; el de maíz por 0,80, y el de trigo por 0,74. De esta forma, se estandariza groseramente el rendimiento de granos que tienen una composición energética muy diferente. Otra alternativa consiste en estimar esta productividad utilizando el precio de los granos para obtener el ingreso neto en el numerador; esto es la sumatoria del producto de rendimiento y precio. Debido a que éstos índices son utilizados para comparar sistemas se recomienda utilizar el precio histórico de los granos para evitar efectos coyunturales.

$$Ppp= \frac{\Sigma \text{rendimiento de cultivos de la secuencia (kg de grano o glucosa/ha)}}{\text{Lluvias en el periodo anualizado de duración de la secuencia}} \quad [2]$$

Índice de diversidad

Este indicador permite valorar la diversidad de la secuencia. Deriva del índice de concentración de Herfndahl-Hirschman

(HH) para actividades económicas. El rango de valores va entre 0 y 10.000, donde mayores valores son reflejo de una menor diversidad. Por ejemplo, un monocultivo tendrá un HH=10.000, una secuencia maíz-soja tendrá un HH=5000 y una secuencia trigo/soja de segunda-maíz tendrá un HH=3267.

$$HH= \sum (\text{porcentaje de cada cultivo})^2 \qquad [3]$$

Balance aparente de nutrientes

Surge del cálculo de la cantidad de nutrientes exportados en los granos y su reposición a través de la fertilización. En el caso del nitrógeno, para las secuencias que incluyen leguminosas puede requerir una estimación de la fijación biológica del nutriente. Ésta puede variar considerablemente en virtud del cultivo considerado y de las condiciones ambientales. La cantidad de nutriente exportado en los granos puede obtenerse fácilmente en García y Correndo (2016, ver link en Bibliografía).

Productividad parcial del factor fertilización (Ppff)

Constituye una estimación de la productividad de la práctica de fertilización. En general, en sistemas con alto nivel de intensificación de tipo I este índice tiende a ser bajo, debido a que altas dosis de fertilizantes no se traducen en respuestas lineales en rendimiento. Sin embargo, este indicador debe ser evaluado siempre junto con el balance aparente del nutriente considerado. Tal como ocurre con la productividad de las precipitaciones, este índice también puede ser calculado en términos de los equivalentes glucosa, de la materia seca producida o del ingreso neto (utilizando precios históricos).

$$Ppff= \frac{\sum \text{rendimiento de cultivos de la secuencia (kg de grano o glucosa/ha)}}{\text{Dosis de fertilizante aplicado en el periodo anualizado de duración de la secuencia}} \qquad [2]$$

Aporte de carbono de residuos aéreos

Es una estimación, muy grosera, que se realiza para comparar sistemas. El aporte de residuos se calcula sobre la base del rendimiento de los cultivos y su índice de cosecha. En caso de incluir cultivos de servicios se debe agregar la contribución de biomasa aérea, la cual debe ser dividida por un factor de 0,42-0,44 para estimar el aporte de carbono. Esta estimación no incluye la participación de las raíces ni considera el potencial de mineralización de los residuos.

Si se pretende contar con una estimación del balance de carbono en el suelo es recomendable consultar el balance simplificado propuesto por Álvarez (2006, ver link en Bibliografía).

Otros indicadores

Existen diversos indicadores que pueden ser útiles para comparar sistemas, pero exigen un mayor nivel de detalle en lo que respecta a la información necesaria para su cálculo.

Para realizar una evaluación integral del impacto ambiental de la intensificación de las secuencias se deberían considerar sus efectos desde una perspectiva amplia, que tome en cuenta los posibles riesgos de agotar recursos no renovables, el uso de la tierra, el cambio climático global, la toxicidad sobre el ecosistema y la salud humana, la acidificación de la atmósfera y el suelo y la eutrofización terrestre y acuática. Una aproximación que permite considerar todos estos aspectos es la del análisis del ciclo de vida (*LCA*, del inglés *Life Cycle Assessment*) de un producto, proceso o actividad (ISO 2006 a, b). Sin embargo, existen muy pocos ejemplos de aplicación de esta metodología en la producción agrícola, siendo más frecuente su utilización en el estudio de procesos industriales.

Una metodología disponible para evaluar el impacto de la aplicación de fitosanitarios y comparar diferentes sistemas es el cociente de impacto ambiental (EIQ, por sus siglas en inglés *Environmental Impact Quotient*), que se está utilizando cada vez más debido a su sencillez. Este índice integra, para cada fitosanitario, el impacto sobre el trabajador rural, el consumidor y el ambiente. A diferencia de la clasificación de fitosanitarios en bandas según su grado de toxicidad, el EIQ considera, además, la toxicidad crónica y la dosis utilizada.

Consideraciones finales

La intensificación agrícola sostenible es una herramienta valiosa para enfrentar los desafíos de la agricultura de los próximos años. La propuesta presente en este capítulo se basa en cuatro pilares-guía (diversidad, perennidad, eficiencia y visión sistémica) y dos estrategias agronómicas (tipo I y II). Las estrategias de tipo II (inclusión de cultivos de servicios, realización de cultivos dobles y cultivos perennes) son las de mayor impacto para cumplir con las metas establecidas, definidas sobre la base de los pilares-guía en la mayor parte de la región pampeana argentina. Para valorar sus potenciales riesgos y beneficios, los sistemas intensificados deben ser cuidadosamente evaluados y diseñados mediante la utilización de indicadores validados científicamente.

Bibliografía

Álvarez, R.; Steinbach, S.; De Paepe, J. "Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis". *Soil and Tillage Research*, 170: 53-65. 2017.

Álvarez, R. "Balance de Carbono en los suelos. Información Técnica de Trigo Campaña 2006". Publicación Miscelánea N° 105. INTA EEA Rafaela. 2006. [http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/miscelaneas/105/trigo2006_36.pdf]

Andrade, F.H. (Ed). *Los desafíos de la agricultura argentina*. 1a ed . - Buenos Aires : Ediciones INTA, 2017. 120p. 2017.

Boserup, E. "Agricultural growth and population change". In: Eatwell, J.; Milgate, M.; Newman, P. (Eds). *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*. Macmillan, London and Basingstoke. 1987.

Caviglia, O.P.; Andrade, F.H. "Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: Capture and use efficiency of environmental resources". *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 3:1-8. 2010.

Caviglia, O.P.; Rizzalli, R.H.; Monzon, J.P.; García, F.O.; Melchiori, R.J.M.; Martinez, J.J.; Cerrudo, A.; Irigoyen, A.; Barbieri, P.A.; Van Opstal, N.V.; Andrade, F.H. "Improving resource productivity at a crop sequence level". *Field Crops Research*, 235: 129 - 141. 2019.

Caviglia, O.P.; Sadras, V.O.; Andrade, F.H. "Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double cropped wheat-soybean". *Field Crops Research* 87: 117-129. 2004.

Caviglia, O.P.; Sadras, V.O.; Andrade, F.H. "Modelling long-term effects of cropping intensification reveals increased water and radiation productivity in the south-eastern Pampas". *Field Crops Research* 149: 300-311. 2013.

Estimaciones agrícolas, Ministerio de Agroindustria de Argentina. 2020. [<http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>]

García, F.; Correndo, A. *Cálculo de Requerimientos Nutricionales* -Versión 2016. Planilla de cálculo para estimar la absorción y extracción de nutrientes de cereales, oleaginosas, leguminosas, industriales, forrajeras y hortalizas. IPNI International Plant Nutrition Institute. 2016. [<http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>].

Hirschman, A. O. "The Paternity of an index". *American Economic Review*. 54:761-762. 1964.

ISO. "Environmental management. Life cycle assessment: Principles and framework" (ISO 14040:2006). European Committee for Standardization, Brussels, Belgium. 2006a.

ISO. "Environmental management – Life cycle assessment: Requirements and guidelines" (ISO 14044:2006). European Committee for Standardization, Brussels, Belgium. 2006b.

Kovach, J.; Petzoldt, C.; Degni, J.; Tette, J. *A method to measure the environmental impact of pesticides*. N.Y. Food Life Sci. Bull. 139:139–146. 1992.

Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 2005.

Novelli, L. E.; Caviglia, O. P.; Piñeiro, G. "Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks". *Soil & Tillage Research*. 165: 128-136. 2017.

Novelli, L.E.; Caviglia, O.P.; Wilson, M.G.; Sasal M.C. *Land use effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol*. *Geoderma* 195-196: 260-267. 2013.

Piñeiro, G.; Pinto, P.; Arana, S.; Sawchik, J.; Díaz, J. I.; Gutiérrez, F.; Zarza R. "Cultivos de servicio: integrando la ecología con la producción agrícola". XXVI Reunión Argentina de Ecología. Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. 2014.

Sharpley, A.N.; Daniel, T.; Gibson, G.; Bundy, L.; Cabrera, M.; Sims, T.; Stevens, R.; Lemunyon, J.; Kleinman, P.; Parry, R. *Best Management Practices To Minimize Agricultural Phosphorus Impacts on Water Quality*. USDA, ARS-163, 44pp. 2006.

Varela, M.F.; Domínguez, J.; Gutiérrez Boem, F.; Taboada, M.; Rubio, G. "Cultivos de cobertura y rendimientos de cultivos de cosecha en la Región Pampeana". Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 2014.

4

Importancia de las raíces sobre los procesos edáficos



Ileana Frasier

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Anguil y Conicet.



Cristian Álvarez, Romina Fernández y Alberto Quiroga

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Anguil



Elke Noellemeyer

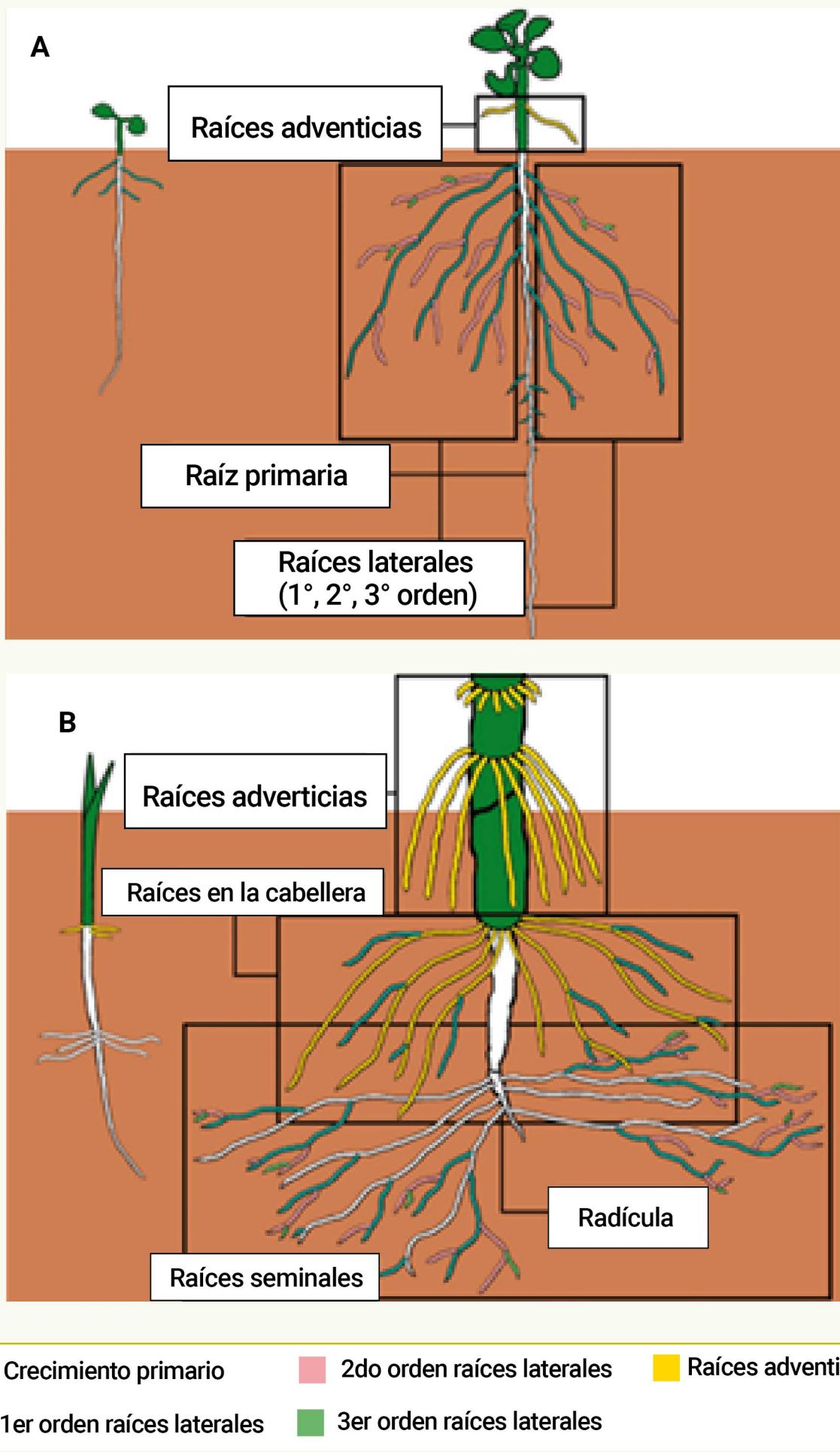
Universidad Nacional de La Pampa.

Las plantas presentan diferentes sistemas radicales, los cuales consisten, básicamente, en una estructura subterránea con distintos órdenes de ramificación. En función del tipo de desarrollo se pueden identificar dos grandes categorías: los sistemas de raíces pivotantes, propios de las dicotiledóneas, conformados por una raíz primaria y otras laterales que emergen de ésta. La segunda categoría, representativa de las monocotiledóneas, corresponde a las raíces fasciculadas, donde la raíz primaria se encuentra poco desarrollada, mientras que las secundarias y adventicias crecen formando una cabellera.

La configuración espacial que adopta el sistema radical durante el crecimiento define su arquitectura y, por ende, su habilidad competitiva para captar los recursos. Tanto la profundidad que alcanzan las raíces como su abundancia y capacidad de enraizamiento lateral son características que contribuyen a describir el patrón de distribución radical. Su conocimiento permite establecer un diagnóstico acerca de la condición del suelo y lograr un manejo más eficiente de los recursos.

La relación raíz:parte aérea es otra característica de los sistemas radicales que refleja la partición de fotoasimilados entre estructuras aéreas y subterráneas. En zonas áridas y semiáridas, las plantas destinan una considerable proporción de su productividad anual a la formación y mantenimiento del sistema radical como estrategia para asegurar el suministro de agua (mayor exploración del suelo). En la región del Caldenal, valores de partición de entre 4 y 7 han sido registrados en especies permanentes nativas (*Stipatenuis* y *Piptochetium napostaense*) y exóticas (*Eragrostis curvula*). Sin embargo, esta relación también depende de la ontogenia de la planta (desarrollo). En especies forrajeras, los valores de partición aumentan con el año de establecimiento de la pastura; en cambio, en cultivos anuales la mayor proporción de fotoasimilados es destinada a las estructuras reproductivas, por lo cual, los valores de partición a raíz suelen ser similares o inferiores a 1.

Figura 1. Sistemas radicales pivotantes (A) y fasciculados (B)



Fuente: Adaptado de Atkinson et al. (2014).



Trabajando duro para facilitarte el trabajo duro

Conocé más



volkswagen.com.ar

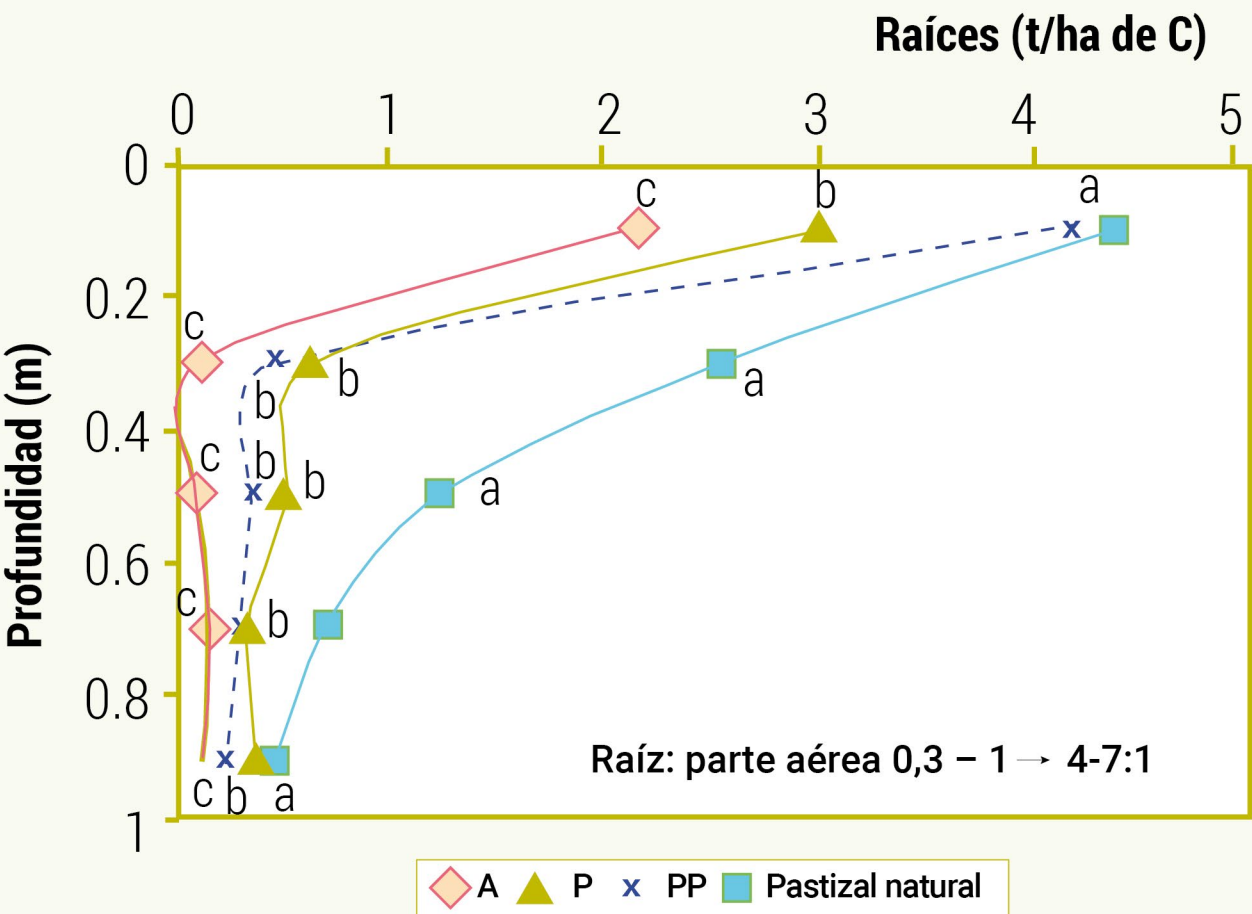
Foto no contractual. Equipamiento según versión. Origen: Argentina. Para más información consulte en www.volkswagen.com.ar. Volkswagen Argentina S.A. Av. De las Industrias No. 3101, Gral. Pacheco, Buenos Aires.



En el gráfico 1 se presentan los patrones de distribución de las raíces para diferentes prácticas de uso: pastizal natural del monte de caldén; pastura de festuca y agropiro de cuatro años de establecimiento (P); pastura permanente de *Eragrostis curvula* (pasto llorón) de 50 años (PP) y una secuencia de cinco años de efecto acumulado con vicia-centeno como cultivo de cobertura y maíz como cultivo de verano (A). Tal como se puede observar, la condición de referencia (pastizal natural) presentó la mayor biomasa de raíces en el perfil, contribuyendo con 5 toneladas de carbono por hectárea de raíces por debajo de los 20 centímetros de profundidad. Por el con-

Gráfico 1. Distribución del contenido de carbono de raíces según prácticas de uso en suelos de textura franca de la región semiárida pampeana

A) Secuencia de cinco años de efecto acumulado con vicia-centeno como cultivo de cobertura y maíz como cultivo de verano; P) Pastura de festuca y agropiro de cuatro años de establecimiento; PP) pastura permanente de *Eragrostis curvula* (pasto llorón) de 50 años.



Fuente: Adaptado de Frasier et al. (2019).

trario, el manejo agrícola modificó sustancialmente el aporte de carbono de raíces con una drástica disminución en todas las profundidades. Con respecto a la situación de referencia, dicha merma representó una reducción del 60% por debajo de los 20 cm de profundidad. Por su parte, las pasturas constituyeron una situación intermedia, aunque en ningún caso alcanzaron el aporte de raíces del pastizal natural.

Considerando que la concentración de carbono en los tejidos radicales es cercana al 40%, podemos mencionar valores de biomasa de raíces de 6 a 22 t de MS/ha hasta el metro de profundidad entre los manejos más contrastantes. Estos resultados evidencian la importancia del estudio de raíces en profundidad, ya que reflejan el impacto que tienen las prácticas de uso del suelo sobre el *stock* de carbono.

Otro aspecto interesante se relaciona con el patrón de distribución de las raíces. En general, se observa mayor abundancia en los primeros 20 cm de suelo, donde los recursos son más abundantes. Dicha respuesta puede adoptar un patrón más o menos estratificado en función de la especie. Por ejemplo, los cereales de invierno pueden presentar aproximadamente el 80% de sus raíces en los primeros 20 cm del perfil.

El suelo también puede imponer ciertas restricciones al desarrollo radical, las cuales están vinculadas a su condición genética o a limitantes de origen antrópico. Entre las principales limitantes se puede mencionar la textura, la estructura (agregación y porosidad), la resistencia a la penetración, la densidad aparente, el contenido de agua, la tasa de difusión de oxígeno, la temperatura, el pH y la presencia de sales. El sistema radical se adapta en respuesta a las limitaciones impuestas por el ambiente edáfico circundante generando modificaciones en su arquitectura, como así también, a través de cambios específicos del tejido que afectan a las necesidades metabólicas de la raíz y a la eficiencia de absorción de nutrientes.

La textura es uno de los factores que más condiciona la abundancia de raíces en el suelo. En el cuadro 1 (ver en la página siguiente) se presenta una recopilación de trabajos que cuantificaron raíces en condiciones de campo. En general, la bibliografía evidencia que en los suelos de texturas más gruesas la abundancia de raíces es mayor que en los de texturas finas. Cabe aclarar que existen diferentes metodologías de evaluación (monolitos, trincheras, barrenos tubulares o cilindros, rizotrones) y que cada una de ellas posee ventajas y desventajas a la hora de interpretar los resultados. Sin embargo, la más adoptada es la del cilindro o barreno tubular, probablemente por su menor costo económico y mayor simplicidad para la toma de muestras a campo, lo que permite trabajar con un mayor número de réplicas.





RESPETO

LO QUE LA TIERRA **PIDE**, LA TIERRA **DA**



fuelle

dosis

momento

forma

Respetar los 4 requisitos para el manejo eficiente de los nutrientes es **cuidar** el medioambiente. Y el **futuro**.



www.profertilnutrientes.com.ar - 0800-666-7763

Profertil Nutrientes 

Cuadro 1. Biomasa de raíces de diferentes cultivos cuantificadas en diferentes texturas de suelo, profundidades de estudio y metodologías implementadas (en kg de MS/ha).					
Cultivo	Biomasa raíces (t de MS/ha)	Prof. (cm)	Textura	Metodología/herramienta utilizada	Referencia
Cereal de invierno	4,1-4,9	100	Arenosa	Barreno tubular	Oderiz et al., 2017
	2-2,5	30	Franco-arenosa	Cilindro	Chirinda et al., 2011
	2	95	Franco-arenosa	Cilindro	Cannells et al., 1985
	4,1-5	100	Franco-arenosa	Barreno tubular	Oderiz et al., 2017
	1,8	15	Franca	Cilindro	Austin et al., 2017
	0,9-1,5	60	Franca	Cilindro	Pietola y Alakukku, 2005
	1,3	35	Franco-arcillo-arenosa	Cilindro	Tahir et al., 2016
	1,2	75	Franco-arcillo-arenosa	Combina monolito y cilindro	Hirte et al., 2018
	3,7	50	Franco-limosa	Cilindro	Buyanovsky y Wagner, 1986
	3,6	15	Franco-arcillosa	Cilindro	Sievers y Cook, 2018
	L: 3; E: 0,6	20	Franco-arcillosa	Cilindro	Amato y Prado, 1994
	1,3	20	Franco-arcillosa	Monolito	Kuo et al., 1997 a ,b
	1,4	75	Arcillosa	Combina monolito y cilindro	Hirte et al., 2018
	0,8	100	Arcillosa	Barreno tubular hidráulico	Ojeda y Caviglia, 2018
	1,9-2,5	120	Arcillo-limosa	No especifica	Arslan y Kurdali, 1996
Maíz	2,7	30	Arenosa	Cilindro	Ball-Coelho et al., 1998
	9	70	Franco-arenosa	Cilindro	Dwyer et al., 1996
	1,3	15	Franca	Cilindro	Austin et al.,2017
	9,2	50	Franco-limosa	Cilindro	Buyanovsky y Wagner, 1986
	0,9	75	Franco-arcillo-arenosa	Combina monolito y cilindro	Hirte et al., 2018
	6,5	90	Franco-arcillosa	Cilindro	Dwyer et al., 1996
	L: 2,2; E: 1	60	Franco-arcillo-limosa	Cilindro	Ordóñez et al., 2018
	1,85	100	Franco-arcillo-limosa	Barreno tubular hidráulico	Dietzel et al., 2017
	4	10	Arcillosa	Cilindro	Mazzilli et al., 2015
	1,9	75	Arcillosa	Combina monolito y cilindro	Hirte et al., 2018
	1,2	100	Arcillosa	Barreno tubular hidráulico	Ojeda y Caviglia, 2018
	L: 2,6; E: 0,7	30	No especifica	Barreno tubular hidráulico	Nichols et al., 2019
Soja	3,4	50	Franco-limosa	Cilindro	Buyanovsky y Wagner, 1986
	3,9	112	Franco-limosa	Barreno tubular hidráulico	Benjamin y Nielsen, 2006
	L: 2,1; E: 0,6	60	Franco-arcillo-limosa	Cilindro	Ordóñez et al., 2018
	1,3	10	Arcillosa	Cilindro	Mazzilli et al., 2015
	1,2	100	Arcillosa	Barreno tubular hidráulico	Ojeda y Caviglia, 2018
	L: 1,4; E: 0,6	30	No especifica	Barreno tubular hidráulico	Nichols et al., 2019
Continúa en la página siguiente					

Cuadro 1. Biomasa de raíces de diferentes cultivos cuantificadas en diferentes texturas de suelo, profundidades de estudio y metodologías implementadas (en kg de MS/ha).

Cultivo	Biomasa raíces (t de MS/ha)	Prof. (cm)	Textura	Metodología/herramienta utilizada	Referencia
Vicia	3,1	100	Arenosa	Barreno tubular	Oderiz et al., 2017
	3,9	100	Franco-arenosa	Barreno tubular	Oderiz et al., 2017
	1,2	20	Franco-limosa	Cilindro	Puget y Drinkwater, 2001
	1,8	35	Franco-arcillo-arenosa	Cilindro	Tahir et al., 2016
	1,2	15	Franco-arcillosa	Cilindro	Sievers y Cook, 2018
	0,5	20	Franco-arcillosa	Monolito	Kuo et al., 1997 a, b
	2,6	40	Franco-arcillosa	Cilindro	Ozpinar et al., 2006
	1	120	Arcillo-limosa	No especifica	Arslan y Kurdali, 1996
Pastura	14,5-17	30	Arenosa	Cilindro	Van Eekeren et al., 2010
	7-12	100	Arenosa-arenoso-franca	Cilindro	Frasier et al., 2019
	8-15,6	45	Franco-arenosa	Cilindro	Bolinder et al., 2002
	13,5	100	Franco-arenosa	Cilindro	Frasier et al., 2019
	2,5	15	Franca	Cilindro	Ghimire et al., 2014
	12,5-15	100	Franca	Cilindro	Frasier et al., 2019
	2,5-3,3	60	Franco-arcillosa	Cilindro	Skinner et al., 2006
	1,1-2,9	100	Arcillosa	Barreno tubular hidráulico	Ojeda y Caviglia, 2018
Pastizal natural	15	100	Arenosa	Cilindro	Mueller et al., 2013
	14,5	100	Arenosa-arenoso-franca	Cilindro	Frasier et al., 2019
	19	100	Franco-arenosa	Cilindro	Frasier et al., 2019
	22	100	Franca	Cilindro	Frasier et al., 2019
	5,8	100	Franco-arcillo-limosa	Barreno tubular hidráulico	Dietzel et al., 2017

Como condición de referencia se presentan valores de pastizales naturales (L: línea de siembra; E: entresurco).

La raíz se elonga cuando la presión que ejerce excede la resistencia mecánica que le impone el suelo. Sin embargo, cuando encuentra zonas con alta resistencia a la penetración su elongación se reduce, viéndose alterado su diámetro y el número de raíces laterales en el eje primario. Además, se modifica su orientación hacia zonas donde halla menor resistencia. Resistencias a la penetración de 2-2,5 MPa son suficientes para impedir un desarrollo radical normal.

A medida que las raíces se anclan en el suelo para sostener la parte aérea de la planta se transforman en un sistema de refuerzo para el movimiento del suelo debido a su resistencia a la tracción y a sus propiedades de fricción y

adherencia. Este incremento en la resistencia mecánica del suelo enraizado reduce la susceptibilidad a la erosión (erodabilidad). Como ejemplos de prácticas de manejo basadas en este proceso podemos mencionar la fijación de médanos y dunas y la siembra en contorno. Esta última práctica, además de reducir el arrastre de suelo, contribuye a la disminución de la escorrentía en terrenos con pendiente.

Las raíces son órganos que se encargan de la absorción y el transporte de agua y nutrientes, ejerciendo el control sobre la productividad total de las plantas. Cuando estos recursos son escasos, la respuesta observada es, por lo general, un crecimiento de la raíz en busca del recurso limitante. Sin embargo, cabe aclarar que cada nutriente puede generar cambios específicos en la elongación y desarrollo lateral de las raíces. Además, éstas pueden emitir señales hacia la parte aérea (ácido abscísico, citoquininas) que desencadenan una serie de cambios en respuesta a dicha limitante: por ejemplo, expansión foliar, apertura o cierre de estomas. Cuando se piensa en nutrientes inmóviles, su proximidad a la raíz resulta clave para la absorción. En cambio, el enraizamiento lateral y la profundidad radical constituyen características importantes para la adquisición de nutrientes solubles y móviles, especialmente nitratos, como así también, para la absorción de agua en ambientes limitantes (mayor capacidad de exploración radical como estrategia para enfrentar déficits hídricos).

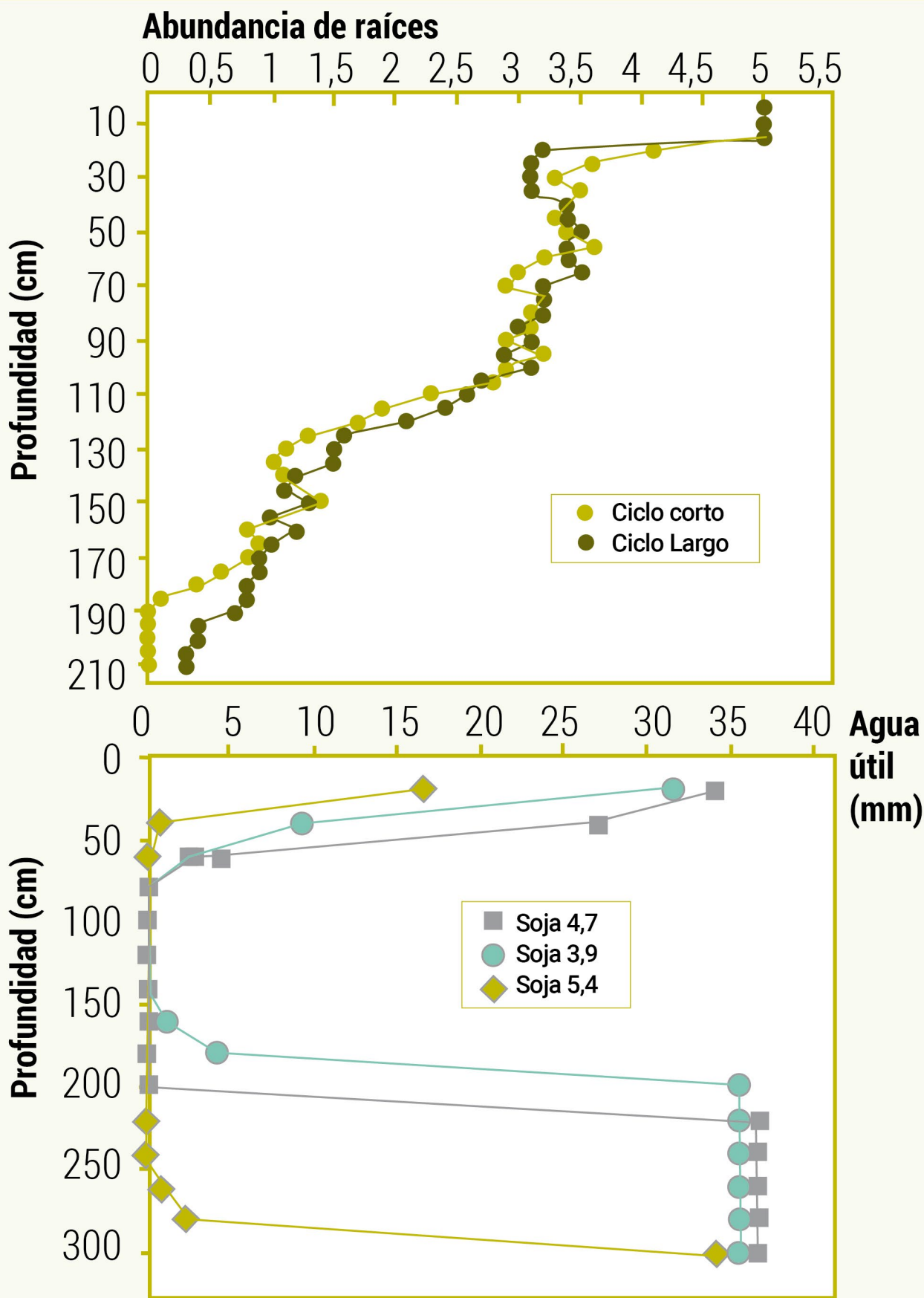
Algunas especies y cultivares pueden desarrollar una profundidad efectiva de raíces cercana a 1,5-1,6 metros; entre ellas figuran los trigos de ciclo corto, las sojas de grupo 3, los maíces ultraprecoces y la colza de primavera. Por el contrario, otras especies y cultivares alcanzan valores máximos de profundidad de raíces cercanos a los 2,2-2,5 metros. Es el caso del girasol, de la soja grupo 5, de los maíces de ciclo completo a subtropicales, y de los trigos de ciclo largo. En el gráfico 2a se presenta un ejemplo de abundancia de raíces de maíz de has-

ta 2,1 metros de profundidad en un suelo arenoso de la localidad de Anguil, La Pampa, donde el maíz de ciclo corto alcanzó una profundidad efectiva de hasta 1,8 metros, mientras que el material de ciclo largo habría superado los 2,1 metros (Saks *et al.*, 2014). Si se considera el espesor del perfil explorado por las raíces, sistemas radicales más profundos podrían extraer potencialmente entre 50 y 100 milímetros más de agua dependiendo de la textura del suelo. En el gráfico 2b se presenta la disponibilidad de agua para diferentes grupos de soja. La soja de grupo 5,4, con mayor exploración radical redujo la humedad edáfica a punto de marchitez hasta los 2,5 metros. En cambio, la de grupo 3,9 deprimió la humedad hasta el 1,4 metro (ver gráfico 2 en la página siguiente).

La presencia de napa freática también puede restringir el crecimiento de las raíces, al limitar el volumen de suelo que pueden explorar por encima de ella según la profundidad a la cual se encuentre. Como mínimo, el suelo debe contener un 10% de poros con aire para permitir la actividad respiratoria radical. Si, por el contrario, la profundidad de la napa se encuentra por debajo de los 60-80 cm, y su calidad lo amerita, puede resultar estratégico pensar en un sistema radical que utilice este recurso para incrementar su productividad. En cierto grado se han desarrollado estrategias de “acoplamiento a las napas” seleccionando cultivares con mayor profundidad efectiva de raíces (por ejemplo, grupos más largos de soja) o fechas de siembras más tempranas (trigos ciclos medios a largos) que permiten alcanzar la zona capilar de napas localizadas a mayor profundidad. Por otra parte, si la calidad de la napa presentara un riesgo de salinización, mantener el suelo con raíces todo el año resultaría estratégico para prevenir su ascenso a la superficie.

Las raíces crecen a través de poros o canales preexistentes generados por la presencia de la fauna del suelo y de cultivos previos, como así también a través de grietas generadas por procesos de humedecimiento-desecamiento. Cuando la

Gráfico 2 a y b. (a) Perfil de abundancia de raíces de maíz para dos genotipos de ciclo corto y largo en un suelo arenoso de la localidad de Anguil, La Pampa (la escala 0 a 5 indica menor a mayor abundancia de raíces obtenido mediante el método semicuantitativo de la grilla). (b) Disponibilidad de agua útil a cosecha (mm) hasta los 3 metros de profundidad para tres cultivares de soja de diferente ciclo de madurez (3,9, 4,7 y 5,4) en un suelo franco-arenoso de la localidad de Intendente Alvear, La Pampa.



raíz penetra en el suelo se producen grandes tensiones (axial y radial) que deforman los poros preexistentes. Su diámetro debe ser lo suficientemente grande (aproximadamente 100 μm) para permitir el ingreso de la raíz, aunque este valor resulta inferior para las raíces laterales más finas (20-100 μm) y para los pelos radicales (5-10 μm). A su vez, las raíces contribuyen a la formación de nuevos bioporos en el suelo circundante (rizosfera) (figura 2). Estudios recientes muestran que las especies cultivables con raíces más gruesas incrementan

Figura 2. a). Raíces de centeno incluido como cultivo de cobertura durante el barbecho largo que tiene lugar entre dos cultivos de verano (arriba); b) Cambios en el patrón de distribución de raíces en el suelo con densificación subsuperficial (abajo).



la macroporosidad del suelo, mientras que aquellas que poseen un sistema más denso de raíces finas incrementan el volumen de los microporos. Esta mejora en la macroporosidad también puede verse reflejada en el desarrollo radical del cultivo sucesor (figura 3). Sin embargo, la magnitud de estos cambios no dependería exclusivamente del sistema radical, sino también de la textura del suelo, del contenido de humedad y de la densidad aparente.

Cambios en el sistema poroso contribuirían favorablemente a la infiltración del agua en el suelo. Estudios realizados en distintas localidades de la región pampeana evidencian una relación lineal y positiva entre la infiltración acumulada y la cantidad de raíces (gráfico 3a). Lo mismo ocurrió con la infiltración básica, aunque su respuesta estuvo, además, condicionada por la condición del sitio de estudio, es decir, por la textura y la historia previa de manejo (gráfico 3b). Por el contrario, en muchos suelos cultivados el crecimiento radical

Figura 3. Cambios en el sistema radical de maíz por efecto del cultivo antecesor. Testigo (monocultura maíz); centeno y vicia. Datos de la campaña 2019/20. Módulo experimental ubicado en la localidad de B. Larroude, La Pampa.

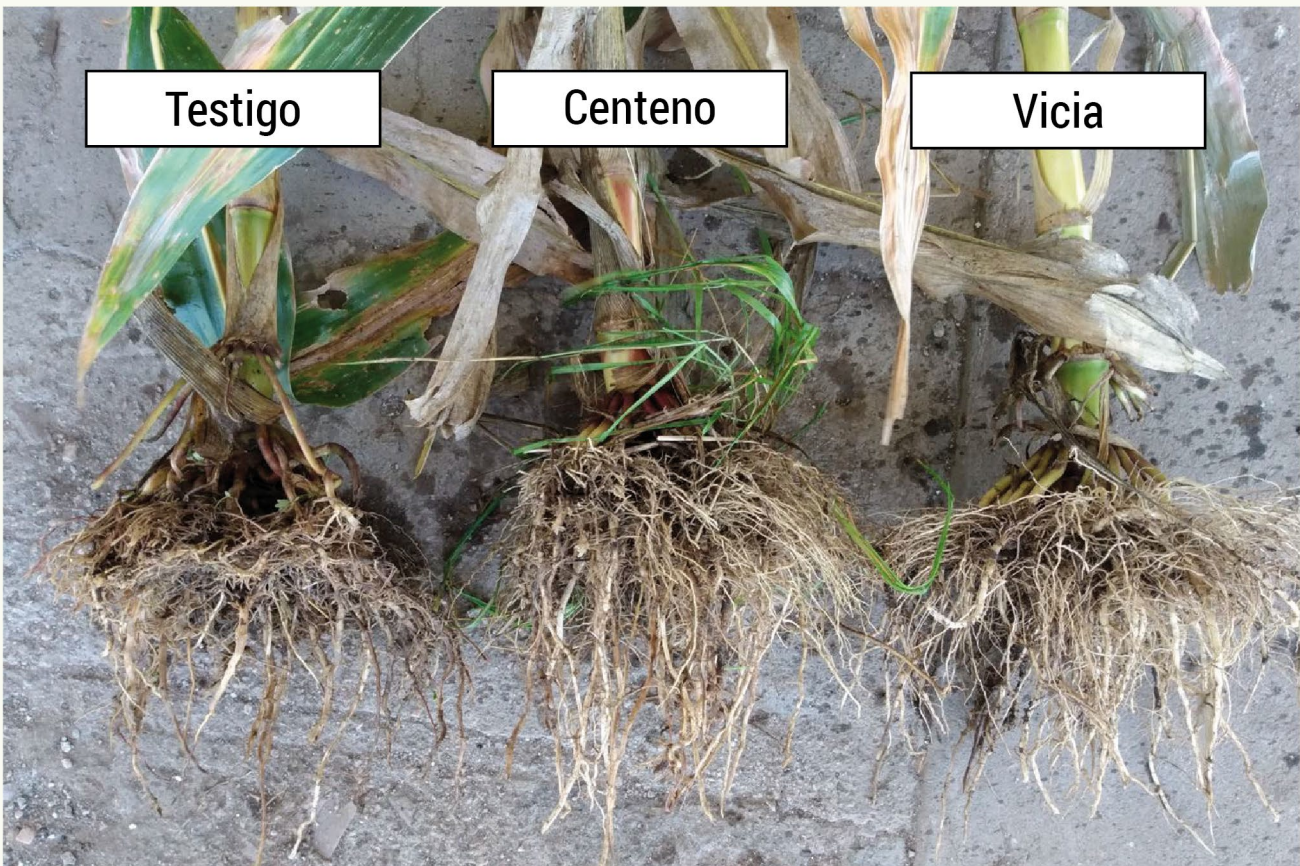
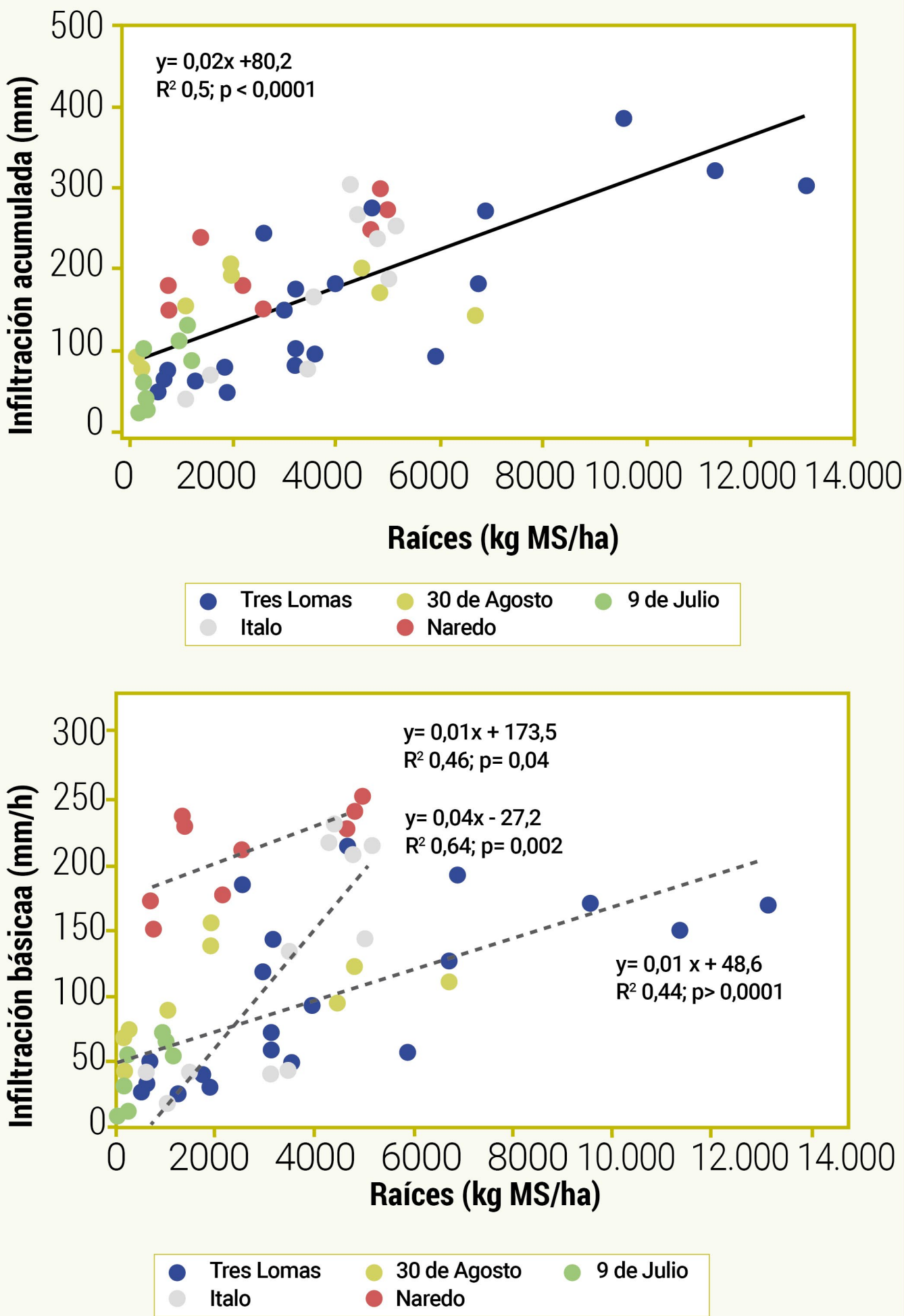


Gráfico 3. Cambios en la infiltración acumulada (a) y básica (b) en función de la biomasa de raíces de los cultivos (pasturas, cereales de invierno, vicia). Campaña 2018/19.



puede verse limitado por una baja macroporosidad asociada a la presencia de densificaciones. Estudios recientes muestran que la mayor parte de los suelos cultivados del país han experimentado un incremento en la susceptibilidad a la compactación, con aumentos en la densidad aparente que limitan la captación del agua de las precipitaciones, y la profundidad efectiva y distribución de las raíces.

La figura 4 muestra la arquitectura del sistema radical del girasol en respuesta a distintos grados de densificación sub-superficial: E4 sin limitaciones; E2 y E3 con limitaciones intermedias, y E1 con limitaciones severas. Los cereales de invierno incluidos como cultivos de cobertura contribuyen a mejorar las situaciones E3 y E2, pero no tienen mayor incidencia en E1. En estos casos, los estudios evidencian la conveniencia de complementar una labor mecánica (vertical) realizada en otoño con la siembra simultánea de cereales de

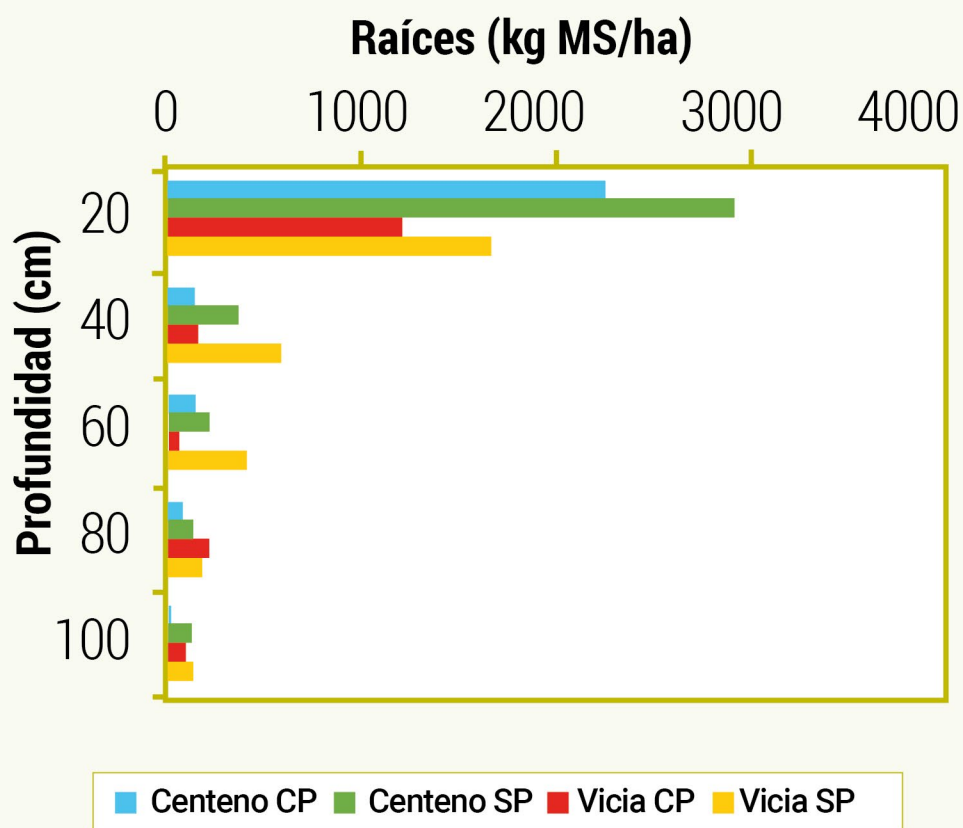
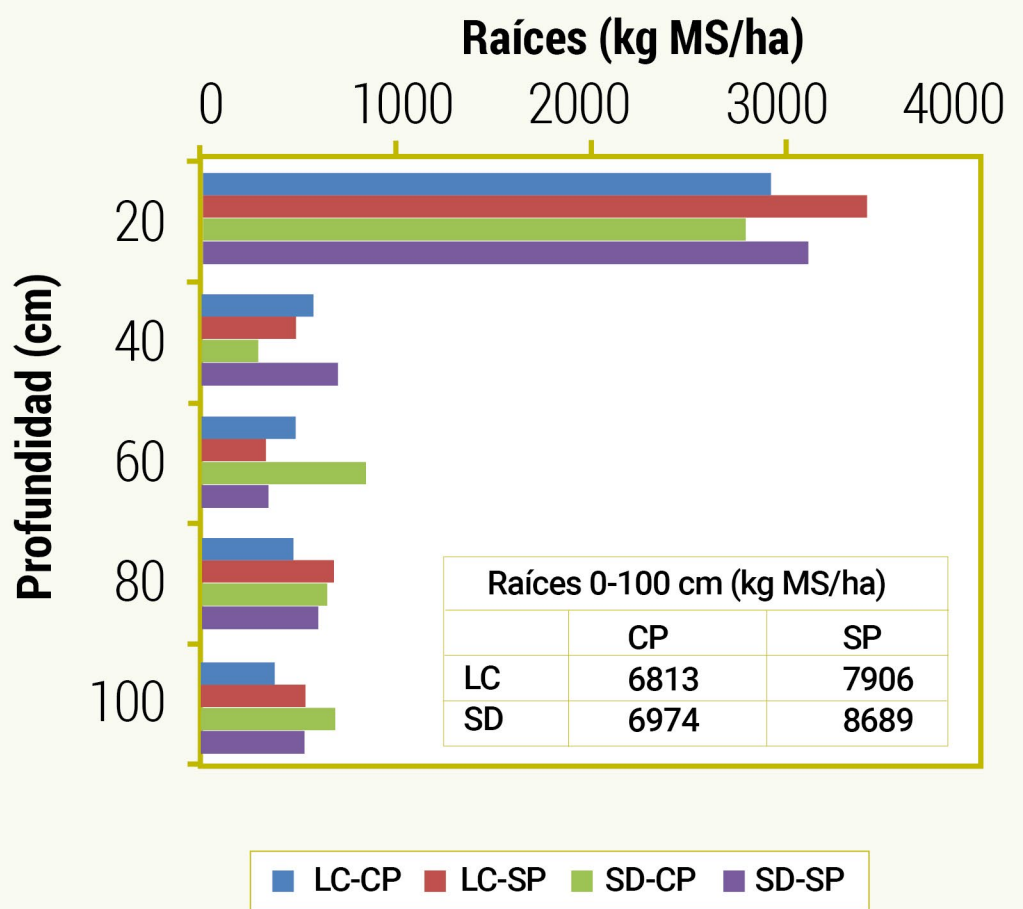


invierno. La estrategia de intervención debe responder a cada situación en función de la localización, espesor y resistencia del estrato densificado. No es conveniente extrapolar experiencias sin contar con esta información. Respecto de este tema se puede concluir que los cultivos de cobertura, solos o combinados con labor mecánica, pueden realizar una importante contribución a la recuperación de la condición física de algunos suelos. En consecuencia, pueden mejorar la captación, distribución, almacenaje y uso del agua.

También existen otras estrategias de manejo que pueden conducir a la presencia de zonas densificadas. El sistema de labranza, por ejemplo, puede generar compactaciones subsuperficiales como consecuencia del paso de la maquinaria agrícola según la profundidad de labor. De manera similar, el pastoreo de rastrojos y cultivos como parte de los sistemas mixtos puede afectar la porosidad del suelo por efecto del pisoteo continuo, en función de la humedad del suelo y de la carga animal.

El gráfico 4 se presentan dos ejemplos del impacto que tienen estas prácticas sobre la abundancia y distribución de raíces en el perfil. En función del sistema de labranza, el pastoreo representó mermas del 14 al 20% en la biomasa de raíces al metro de profundidad (gráfico 4a). Además, se observaron cambios en la distribución de raíces en el entresurco y una reducción en la cantidad de raíces en los primeros 20 centímetros cuando se pastoreó en ambos sistemas. La combinación de siembra directa con pastoreo también evidenció una llamativa disminución de raíces en el estrato 20-40 cm, a diferencia de lo que ocurrió en el resto de los tratamientos. En el gráfico 4b se presentan los patrones de distribución de raíces de vicia y centeno con y sin pastoreo. Ambas especies mostraron reducciones en su abundancia al metro de profundidad debidas al pastoreo (40 y 28% para vicia y centeno, respectivamente). A su vez, el patrón de distribución también presentó modificaciones provocadas por el pastoreo. En el

Gráfico 4. (a) Distribución de raíces de girasol hasta el metro de profundidad según sistema de labranza con y sin pastoreo en un módulo con 25 años de efecto acumulado de la localidad de Dorila, La Pampa. (b) Distribución de raíces de centeno y vicia, con y sin pastoreo durante el ciclo de cultivo en un módulo de estudio ubicado en la localidad de Naredo, provincia Buenos Aires.



caso de vicia, los cambios se observaron en los primeros 60 cm, mientras en centeno, eso ocurrió principalmente en el estrato superficial.

Las raíces pueden liberar gran variedad de compuestos orgánicos como parte del proceso de rizodeposición, el cual, representa aproximadamente el 50% del carbono de la biomasa de raíces. Estos compuestos actúan como agentes aglutinantes en la agregación de partículas minerales del suelo, favoreciendo la formación y estabilización de microagregados dentro de los macroagregados. Los exudados también intervienen en el diálogo entre la raíz y los organismos del suelo. Tal es el caso de lo que ocurre, por ejemplo, en el inicio y modulación de las asociaciones simbióticas con rizobios y micorrizas en la interacción con bacterias promotoras del crecimiento, patógenos e invertebrados herbívoros. Por lo tanto, el manejo del suelo que se realice condicionará la actividad y diversidad biológica en la rizosfera, impactando directamente sobre el ciclado de nutrientes, la estabilización de compuestos orgánicos, y la incidencia de plagas y patógenos.

La figura 5 muestra el impacto de secuencias de cultivos que permiten mantener raíces vivas durante todo el año estimulando la actividad biológica, en comparación con esquemas productivos con alta proporción de cultivos estivales y largos barbechos.

Las raíces muertas también constituyen una fuente de carbono que contribuye a la formación de materia orgánica. Cuando se descomponen por acción de la biota (microflora y fauna), aportan al suelo importantes cantidades de carbono. El compartimento de la materia orgánica que acusa el cambio es la fracción particulada (ver capítulo 5). La relación entre estas variables es lineal: la respuesta a un mayor aporte de raíces se traduce en un aumento de la materia orgánica particulada. Las raíces fragmentadas y descompuestas se

Figura 5. Secuencia de cultivos que mantienen el suelo con raíces vivas todo el año (arriba) *versus* monocultura (abajo)



amalgaman con las partículas minerales del suelo formando microagregados dentro de los macroagregados. Este proceso se ve favorecido por la presencia de compuestos orgánicos producto de la actividad microbiana, su necromasa (células muertas) y la presencia de hifas que contribuyen a la estabilización de dichos agregados y a la formación de complejos órgano-minerales. Sin embargo, la velocidad de descomposición de la materia orgánica particulada derivada de

las raíces es regulada por la protección física que ejercen los microagregados sobre el material, como así también por su calidad y por las condiciones del ambiente edáfico (temperatura y humedad). Todos estos procesos explican por qué las raíces contribuyen con una mayor proporción de carbono en el proceso de formación de materia orgánica del suelo, a diferencia de los residuos aéreos ubicados sobre la superficie, que tienen menor contacto con la matriz de suelo. Sin embargo, cabe señalar que esta relación entre el aporte de residuos (raíces) y el almacenamiento de carbono en el suelo no es lineal. Por el contrario, la capacidad de almacenar carbono de un suelo sigue la ley de incrementos decrecientes alcanzando un valor máximo de saturación que es dependiente de la textura. Por ejemplo, en suelos arenosos, el carbono aportado por las raíces permanece como material particulado susceptible a la mineralización, mientras los niveles de materia orgánica total no aumentan, incluso con aportes de raíces importantes, como ocurre en sistemas naturales. La textura limita la capacidad de captura de carbono, por lo tanto, la posible contribución que puede tener una misma práctica de uso del suelo. Es por ello que, a la hora de comparar resultados sobre la contribución de las raíces a los procesos edáficos, resulta fundamental considerar suelos con similar composición granulométrica.

Esta íntima relación entre las raíces y la materia orgánica las convierte en una “potencial” solución a muchas problemáticas derivadas del uso del suelo. Sin embargo, los cambios en las propiedades edáficas -que se ven influenciadas por la interacción suelo-raíz- ocurren como consecuencia de los procesos biológicos o físico-químicos anteriormente descritos. Lejos de simplificar la realidad, éstos nos conducen hacia el entendimiento de la complejidad que conlleva abordar el estudio del suelo.

Bibliografía

Aiken, R.M., Smucker, A. J. M. "Root System Regulation of Whole Plant Growth". *Annu. Rev. Phytopathol.* 34, 325–346. 1996.

Aimar, S., Méndez, M., Penebianco, J. "Capítulo VII: Erosión eólica. Avances de su estudio en la región semiárida de Argentina". *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. INTA Anguil. 2012.

Álvarez, C., Quiroga, A.R., Corro Molas, A., Lienhard, C. "Manejo sitio específico para el cultivo de soja en la región semiárida pampeana". En: *XXII Congreso Mercosoja*. Rosario, CD. 2011.

Amato, M., Pardo, A. "Root length and biomass losses during sample preparation with different screen mesh sizes". *Plant Soil* 161, 299–303. 1994.

Arslan, A. "Rainfed vetch-barley mixed cropping in the Syrian semi-arid conditions II. Water use efficiency and root distribution". *Plant Soil* 183, 149–160. 1996.

Atkinson, J.A., Rasmussen, A., Traini, R., Voß, U., Sturrock, C., Mooney, S.J., Wells, D.M., Bennett, M.J. "Branching out in roots: Uncovering form, function, and regulation". *Plant Physiol.* 166, 538–550. 2014.

Aubertin, G.M., Kardos, L.T. "Root Growth Through Porous Media Under Controlled Conditions: I. Effect of Pore Size and Rigidity". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 29, 290–293. 1965.

Austin, E. E., Wickings, K., McDaniel, M.D., Robertson, G.P., Grandy, A.S. "Cover crop root contributions to soil carbon in a no-till corn bioenergy cropping system". *GCB Bioenergy* 9, 1252–1263. 2017.

Badri, D. V., Vivanco, J. M. "Regulation and function of root exudates". *Plant, Cell Environ.* 32, 666–681. 2009.

Ball-Coelho, B.R., Roy, R.C., Swanton, C. J. "Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil". *Soil Tillage Res.* 45, 237–249. 1998.

Bengough, A.G., McKenzie, B.M., Hallett, P.D., Valentine, T.A. "Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits". *J. Exp. Bot.* 62, 59–68. 2011.

Benjamin, J.G., Nielsen, D.C. "Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea". *F. Crop. Res.* 97, 248–253. 2006.

Bodner, G., Leitner, D., Kaul, H.P. "Coarse and fine root plants affect pore size distributions differently". *Plant Soil* 380, 133–151. 2014.

Bolinder, M.A., Angers, D. A., Bélanger, G., Michaud, R., Laverdière, M. R. "Root biomass and shoot to root ratios of perennial forage crops in eastern Canada". *Can. J. Plant. Sci.* 82, 731–737. 2002.

Bongiorno, G., Postma, J., Bünemann, E.K., Brussaard, L., de Goede, R.G.M., Mäder, P., Tamm, L., Thuerig, B. "Soil suppressiveness to *Pythium ultimum* in ten European long-term field experiments and its relation with soil parameters". *Soil Biol. Biochem.* 133, 174–187. 2019.

Buyanovsky, G.A., Wagner, G.H. "Post-harvest residue input to cropland". *Plant Soil* 93, 57–65. 1986.

Cannell, R.Q., Belford, R.K., Blackwell, P.S., Govi, G., Thomson, R.J. "Effects of waterlogging on soil aeration and on root and shoot growth and yield of winter oats (*Avena sativa* L.)". *Plant Soil* 85, 361–373. 1985.

Chirinda, N., Olsen, J. E., Porter, J. R. "High root biomass for cereal crops increases carbon sequestration in organic arable systems". In: 17th *IFOAM Organic World Congress*. pp. 2–5. 2011.

Dardanelli, J.L., Bachmeier, O.A., Sereno, R., Gil, R. "Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll". *F. Crop. Res.* 54, 29–38. 1997.

Dexter, A.R. "Compression of soil around roots". *Plant Soil* 97, 401–406. 1987.

Dietzel, R., Liebman, M., Archontoulis, S. "A deeper look at the relationship between root carbon pools and the vertical distribution of the soil carbon pool". *SOIL Discuss.* 1–20. 2017.

Drew, M.C. "Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley". *New Phytol.* 75, 497–490. 1975.

Dwyer, L.M., Ma, B.L., Stewart, D.W., Hayhoe, H.N., Balchin, D., Culley, J.L.B., McGovern, M. "Root mass distribution under conventional and conservation tillage". *Can. J. Soil Sci.* 76, 23–28. 1996.

Frasier, I., Quiroga, A., Fernández, R., Álvarez, C., Gómez, F., Scherger, E., Gili, A., Noellemeyer, E. "Soil type, land-use and -management as drivers of root-C inputs and soil C storage in the semiarid pampa region, Argentina". *Soil Tillage Res.* 192, 134–143. 2019.

Gaggioli, C. *Alternativas de cultivos tendientes a mejorar la sustentabilidad de los sistemas de producción de la Región Semiárida Pampeana*. Universidad Nacional del Sur. 2020.

Ghimire, R., Norton, J.B., Pendall, E. "Alfalfa-grass biomass, soil organic carbon, and total nitrogen under different management approaches in an irrigated agroecosystem". *Plant Soil* 374, 173–184. 2014.

Golberg, D., Ruiz, M., Quiroga, A.R., Fernández, A. *¿Qué le sucede a un cultivo cuando no llueve?* INTA.93 pp. 2011.

Golchin, A., Oades, J., Skjemstad, J., Clarke, P. "Soil structure and carbon cycling". *Aust. J. Soil Res.* 32, 1043. 1994.

Gregory, P., Lake, J., Rose, D. *Root Development and Function*. Cambridge University Press, Cambridge. 1987.

Hamblin, A.P. "The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake". *Adv. Agron.* 38, 95–158. 1986.

Hirte, J., Leifeld, J., Abiven, S., Mayer, J. "Maize and wheat root biomass, vertical distribution, and size class as affected by fertilization intensity in two long-term field trials". *F. Crop. Res.* 216, 197–208. 2018.

Jastrow, J.D., Amonette, J. E., Bailey, V. L. "Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration". *Clim. Change* 80, 5–23. 2007.

Jones, D.L., Nguyen, C., Finlay, R.D. "Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil–root interface". *Plant Soil* 321, 5–33. 2009.

Kirby, J. M., Bengough, A.G. "Influence of soil strength on root growth: Experiments and analysis using a critical-state model". *Eur. J. Soil Sci.* 53, 119–127. 2002.

Kong, A.Y.Y., Six, J. "Tracing Root vs. Residue Carbon into Soils from Conventional and Alternative Cropping Systems". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74, 1201–1210. 2010.

Kudoyarova, G.R., Dodd, I.C., Veselov, D.S., Rothwell, S.A., Yu.Veselov, S. "Common and specific responses to availability of mineral nutrients and water". *J. Exp. Bot.* 66, 2133–2144. 2015.

Kuo, S., Sainju, U.M., Jellum, E. J. "Winter Cover Crop Effects on Soil Organic Carbon and Carbohydrate in Soil". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 145. 1997.

Kuo, S, Sainju, U.M., Jellum, E. J. "Winter Cover Cropping Influence on Nitrogen in Soil". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 1392–1399. 1997.

Maeght, J.-L., Rewald, B., Pierret, A. "How to study deep roots—and why it matters". *Front. Plant Sci.* 4, 1–14. 2013.

Mazzilli, S.R., Kemanian, A.R., Ernst, O.R., Jackson, R.B., Piñeiro, G. "Greater humification of belowground than aboveground biomass carbon into particulate soil organic matter in no-till corn and soybean crops". *Soil Biol. Biochem.* 85, 22–30. 2015.

Mueller, K.E., Tilman, D., Fornara, D. a., Hobbie, S.E. "Root depth distribution and the diversity–productivity relationship in a long-term grassland experiment". *Ecology* 94, 787–793. 2013.

Nichols, V.A., Ordóñez, R.A., Wright, E.E., Castellano, M.J., Liebman, M., Hatfield, J. L., Helmers, M., Archontoulis, S. V. "Maize root distributions strongly associated with water tables in Iowa, USA". *Plant Soil* 444, 225–238. 2019.

Oderiz, A., Uhaldegaray, M., Frasier, I., Quiroga, A.R., Amiotti, N., Zalba, P. "Raíces de cultivos de cobertura: cantidad, distribución e influencia sobre el N mineral". *Cienc. del suelo* 35, 249–258. 2017.

Ojeda, J. J., Caviglia, O.P., Agnusdei, M.G. "Vertical distribution of root biomass and soil carbon stocks in forage cropping systems". *Plant Soil* 423, 175–191. doi:10.1007/s11104-017-3502-8. 2018.

Ola, A., Dodd, I.C., Quinton, J.N. "Can we manipulate root system architecture to control soil erosion?" *SOIL Discuss.* 2, 265–289. 2015.

Oldroyd, G.E.D., Leyser, O., 2020. "A plant's diet, surviving in a variable nutrient environment". *Science* (80).368, eaba0196.

Ordóñez, R.A., Castellano, M.J., Hatfield, J.L., Licht, M.A., Wright, E.E., Archontoulis, S. V., 2018. "A solution for sampling position errors in maize and soybean root mass and length estimates". *Eur. J. Agron.* 96, 156–162.

Ozpinar, S., Baytekin, H. "Effects of tillage on biomass, roots, N-accumulation of vetch (*Vicia sativa* L.) on a clay loam soil in semi-arid conditions". *F. Crop. Res.* 96, 235–242. 2006.

Pietola, L., Alakukku, L. "Root growth dynamics and biomass input by Nordic annual field crops". *Agric. Ecosyst. Environ.* 108, 135–144. 2005.

Pollen-Bankhead, N., Simon, A., Thomas, R.E. "The Reinforcement of Soil by Roots: Recent Advances and Directions for Future Research". In: *Treatise on Geomorphology*. Elsevier Ltd., pp. 107–124. 2013.

Puget, P., Drinkwater, L.E.E. "Short-term dynamics of root- and shoot-derived carbon from a Leguminous Green Manure". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 771–779. 2001.

Quiroga, A., Oderiz, A., Uhaldegaray, M., Alvarez, C., Scherger, E., Fernández, R., Frasier, I., 2016. "Influencia del uso de suelos sobre indicadores físicos de compactación". *Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPampa* 26, 19–26. 2001.

Quiroga, A.R., Buschiazzi, D.E., Peinemann, N. "Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid Argentinian Pampas". *Soil Sci.* 161, 104–108. 1996.

Redin, M., Guénon, R., Recous, S., Schmatz, R., de Freitas, L., Aita, C., Giacomini, S. "Carbon mineralization in soil of roots from twenty crop species, as affected by their chemical composition and botanical family". *Plant Soil* 378, 205–214. 2014.

Rellán-Álvarez, R., Lobet, G., Dinneny, J.R., 2016. "Environmental Control of Root System Biology". *Annu. Rev. Plant Biol.* 67, 619–642.

Saks, M., Fernández, R., Gili, A., Quiroga, A.R. "Efecto de la fertilización con nitrógeno en distintos genotipos de maíz". *XXIV Congr. Argentino la Cienc. del Suelo II Reun. Nac. "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas"* Producción sustentable en ambientes frágiles. 2014.

Shahzad, T., Chenu, C., Genet, P., Barot, S., Perveen, N., Mougin, C., Fontaine, S. "Contribution of exudates, arbuscular mycorrhizal fungi and litter depositions to the rhizosphere priming effect induced by grassland species". *Soil Biol. Biochem.* 80, 146–155. 2015.

Sievers, T., Cook, R.L. "Aboveground and Root Decomposition of Cereal Rye and Hairy Vetch Cover Crops". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 82, 147–155. 2018.

Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., Paustian, K. "Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils". *Plant Soil* 241, 155–176. 2002.

Skinner, R. H., Sanderson, M. A., Tracy, B. F., Dell, C. J. "Above- and below-ground productivity and soil carbon dynamics of pasture mixtures". *Agron. J.* 98, 320–326. 2006.

Skuodine, R., Tomchuk, D. "Root Mass and Root To Shoot Ratio. Rom". *Agric. Res.* 32, 209–219. 2015.

Tahir, M.M., Recous, S., Aita, C., Schmatz, R., Pilecco, G.E.G.E., Giacomini, S.J. "In situ roots decompose faster than shoots left on the soil surface under subtropical no-till conditions". *Biol. Fertil. Soils* 52, 853–865. 2016.

Van Eekeren, N., Bos, M., de Wit, J., Keidel, H., Bloem, J. "Effect of individual grass species and grass species mixtures on soil quality as related to root biomass and grass yield". *Appl. Soil Ecol.* 45, 275–283. 2010.

5

Materia orgánica, cobertura y servicios ecosistémicos



Ing. Agr. Sebastián H. Villarino

*Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional
de Mar del Plata y Conicet.*

Grupo de Estudio de Agroecosistemas y Paisajes Rurales.



Ing. Agr. Priscila Pinto

*Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas
Vinculadas a la Agricultura, Universidad
de Buenos Aires. Conicet.*

El suelo desempeña un rol fundamental en la producción agrícola-ganadera, pero también en los procesos de regulación naturales que contribuyen al bienestar humano. Es considerado el biomaterial más complejo del planeta debido a que está compuesto por una rica mezcla de minerales, materia orgánica, organismos vivos, gases, agua y nutrientes. Quizá sea debido a esta complejidad, que la relevancia del suelo para nuestra vida no está lo suficientemente reconocida. En la figura 1 se presenta un marco conceptual que permite ejemplificar algunas relaciones entre el funcionamiento del suelo y las necesidades humanas.

El capital natural del suelo refiere a su estructura biofísica, la cual puede ser descripta a través de sus componentes y propiedades. Los componentes pueden definirse como los elementos biogeoquímicos presentes en el suelo, mientras que las propiedades corresponden a sus características físicas, químicas y biológicas. Dichos componentes y propiedades se encuentran en un equilibrio dinámico definido por los procesos que tienen lugar en el suelo. Los servicios ecosistémicos, definidos como aquellos aspectos de los ecosistemas que aportan beneficios a diferentes actores sociales, emergen de esta interacción entre componentes, propiedades y procesos, mientras que los actores sociales son los grupos de personas que se benefician de los servicios ecosistémicos y pueden ser clasificados según su relación con el capital natural. Existen quienes tienen relación directa con él, porque lo utilizan y, además de beneficiarse de sus servicios, cumplen el rol de afectadores (por ejemplo, los productores agrícolas). Según las prácticas de manejo y el uso del suelo que realicen estos afectadores, se verán favorecidos procesos de degradación del capital natural o procesos de soporte de servicios ecosistémicos. Por otro lado, se encuentran otros actores sociales, por ejemplo la población urbana, que se benefician de los servicios ecosistémicos pero no tienen capacidad para afectar directamente el capital natural y los servicios derivados.

Figura 1. Relaciones entre el suelo (capital natural), las funciones ecosistémicas, los servicios ecosistémicos y los actores sociales



Las cajas verdes corresponden a cuestiones biofísicas, las naranjas a las sociales y las violetas a la interfaz entre lo biofísico y lo social.

Fuente: Adaptado de Haines-Young y Potschin (2010) y de Dominati et al. (2010).

Manejar la cobertura y el balance de carbono en los sistemas agrícola-ganaderos es fundamental para favorecer procesos de soporte de servicios ecosistémicos y desalentar los de degradación. Al manejar estos aspectos se actúa directamente sobre el principal indicador de “salud” del suelo: la materia orgánica (MO). Cuando los contenidos de materia orgánica del suelo (MOS) son los adecuados –es decir, cuando se encuentran por encima de un nivel mínimo–, la mayoría de las propiedades y los procesos necesarios para lograr un buen funcionamiento del suelo se ven favorecidos. Por otra parte, la MOS almacena grandes cantidades de carbono (de hecho, es el principal reservorio de carbono terrestre), por lo tanto, sus variaciones a escala global tienen una enorme potencialidad para emitir o secuestrar dióxido de carbono (CO₂), el principal gas de efecto invernadero.

¿Qué es la materia orgánica del suelo?

La MOS se forma a partir de la descomposición de los restos vegetales muertos y del recambio de raíces y la producción de exudados (rizodeposición) que aportan las plantas vivas. Durante mucho tiempo se sostuvo la teoría de que la persistencia de la MOS estaba determinada por la síntesis de sustancias húmicas de alta estabilidad, cuya formación dependía de los tejidos vegetales más recalcitrantes (con alta lignina y relación carbono/nitrógeno). Sin embargo, esta idea cambió sustancialmente gracias a los avances tecnológicos que permitieron realizar observaciones *in situ* (mediante la espectroscopia por resonancia magnética) y estimar con mayor fiabilidad los flujos de formación y mineralización de diferentes fracciones de la MOS (por medio del uso de isótopos y técnicas de fraccionamiento físico). La conclusión derivada de estas nuevas aproximaciones es que el suelo no presenta moléculas de humus que permanecen en él debido a su complejidad molecular, sino que la MOS está integrada principalmente por moléculas simples. Esto sugiere que

las sustancias complejas de humus observadas en laboratorio son un producto artificial que se sintetiza durante la extracción del suelo, pero que no ocurre en la naturaleza.

Ahora, si la MOS se encuentra formada principalmente por moléculas simples y si el suelo contiene una enorme cantidad y diversidad de microorganismos, ¿por qué la MOS no es consumida por ellos? ¿Cómo es posible que permanezca durante miles de años? La respuesta a estas preguntas parece encontrarse en la existencia de una interacción entre la fracción orgánica y la matriz mineral del suelo, a partir de la cual se generan los “mecanismos de protección”, que serían responsables de que la MOS permanezca y se acumule.

Una estrategia que resultó muy efectiva para abordar la complejidad de la MOS fue su separación física en dos fracciones que demostraron ser muy distintas en cuanto a su composición, funcionamiento y tiempo de permanencia en el suelo. Estas fracciones son la MOS particulada (MOP) y la MOS asociada a los minerales (MOAM); ambas se distinguen por el tamaño de la partícula. La MOP es la fracción de mayor tamaño ($> 53\mu\text{m}$) y contiene residuos parcialmente descompuestos. Puede permanecer por décadas en el suelo si presenta compuestos recalcitrantes ricos en lignina y con una alta relación carbono/nitrógeno (MOP “protegida” por su composición química), o si se encuentra ocluida dentro de macroagregados, donde la actividad de la biota del suelo puede ser reducida (MOP “protegida” por su ubicación). En cambio, el tamaño de la partícula MOAM es menor a $53\mu\text{m}$ y está compuesta por moléculas simples de bajo peso, por lo general ricas en nitrógeno. Es el caso de los productos derivados de los microorganismos y exudados radicales. Esta fracción está compuesta por sustancias lábiles que, paradójicamente, pueden permanecer durante siglos dentro el suelo. Esto se debe a que dichas sustancias se encuentran ocluidas dentro

de microagregados -donde el acceso de los microorganismos está más restringido aún que dentro de los macroagregados (MOAM “protegida” por su ubicación)- adsorbidas a las arcillas del suelo (“protegida” por enlaces físicos) o formando compuestos órgano-minerales con diferentes metales (“protegida” por enlaces químicos).

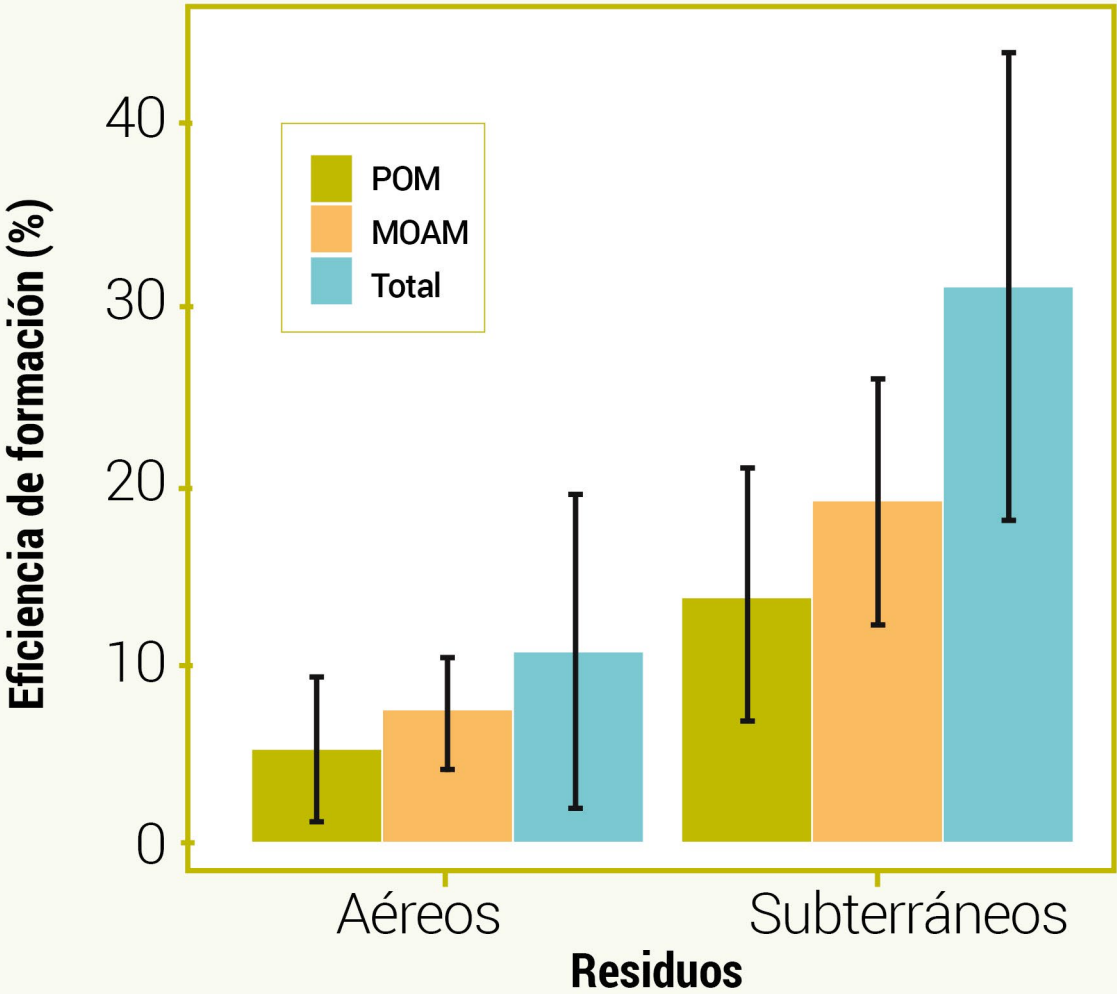
Es decir que la prolongada permanencia de esta fracción en el suelo se debe a estos tres mecanismos que la protegen de la descomposición microbiana y no a la recalcitrancia de sus compuestos, tal como sostenía la teoría del humus. Sin embargo, estos mecanismos tienen una capacidad de protección limitada que establece un límite máximo de formación de MOAM, conocido como *nivel de saturación*. Superada esa frontera, las sustancias simples que le dan origen se encuentran desprotegidas, por lo tanto, los microorganismos pueden descomponerlas muy rápidamente.

Por otra parte, el uso de isótopos permitió marcar los residuos vegetales y conectar el proceso de su descomposición con el de la formación de MOS. Tradicionalmente, se sostenía que los residuos vegetales recalcitrantes, de lenta descomposición, eran los que más contribuían a la formación de MOS. Sin embargo, la posibilidad de estimar cuánto del carbono de los residuos termina finalmente conformando MOS (eficiencia de formación) permitió destacar el rol que cumplen los compuestos más lábiles en la formación de MOAM. Si seguimos en el tiempo lo que ocurre con la descomposición de residuos vegetales, se pueden diferenciar dos etapas contrastantes que contribuyen a la formación de las fracciones MOP y MOAM. En la primera etapa de descomposición, los residuos pierden los compuestos más lábiles, no estructurales y ricos en nitrógeno, que son incorporados rápidamente a la biomasa microbiana, por lo tanto, presentan una alta eficiencia de formación de MOAM. La descomposición de los compuestos estructurales ocurre en la etapa final, cuando

aquellos que son ricos en lignina, y presentan una descomposición más lenta, contribuyen principalmente a la formación de MOP. Finalmente, como la MOAM representa una mayor proporción de la MOS total y se encuentra más protegida de la descomposición que la MOP, los residuos que se descomponen rápidamente contribuyen mucho más a la formación de MOS de lo que se pensaba antiguamente.

Las diferentes vías por las que se forman las fracciones MOP y MOAM también determinan que los residuos subterráneos sean tres veces más eficientes que los aéreos (gráfico 1). Con respecto a la MOP, la eficiencia de formación de los residuos aéreos (hojas y tallos) es de 5%, mientras que la de los subterráneos (raíces y rizodeposición, exudados radicales y reciclado de raíces pequeñas) es de 15% (gráfico 1).

Gráfico 1. Eficiencia de formación de MOAM y de MOP a partir de residuos vegetales aéreos y subterráneos en experimentos realizados con plantas vivas a nivel global



Fuente: Adaptado de Villarino et al., 2019^a.

Esta diferencia podría explicarse porque las raíces contienen mayores contenidos de compuestos recalcitrantes que los residuos aéreos. Por otro lado, las raíces crecen dentro de los agregados, mientras que los residuos permanecen protegidos en su interior (protección por ubicación). Adicionalmente, la eficiencia de formación de MOAM es de 8% para los residuos aéreos y de 20% para los subterráneos. La diferencia en esta fracción se explica principalmente por la rizodeposición, que se incluye dentro de los residuos subterráneos. Las raíces vivas, en activo crecimiento, producen exudados ricos en sustancias simples que promueven el crecimiento y el reciclado de microorganismos. Éstos se multiplican y mueren: así, junto con las sustancias simples excretadas por las raíces, generan un aporte fundamental para la formación de MOAM. Por lo tanto, la existencia de raíces vivas en el suelo resulta clave para la formación de MOS estable, la MOAM.

Funciones de la MOP y la MOAM

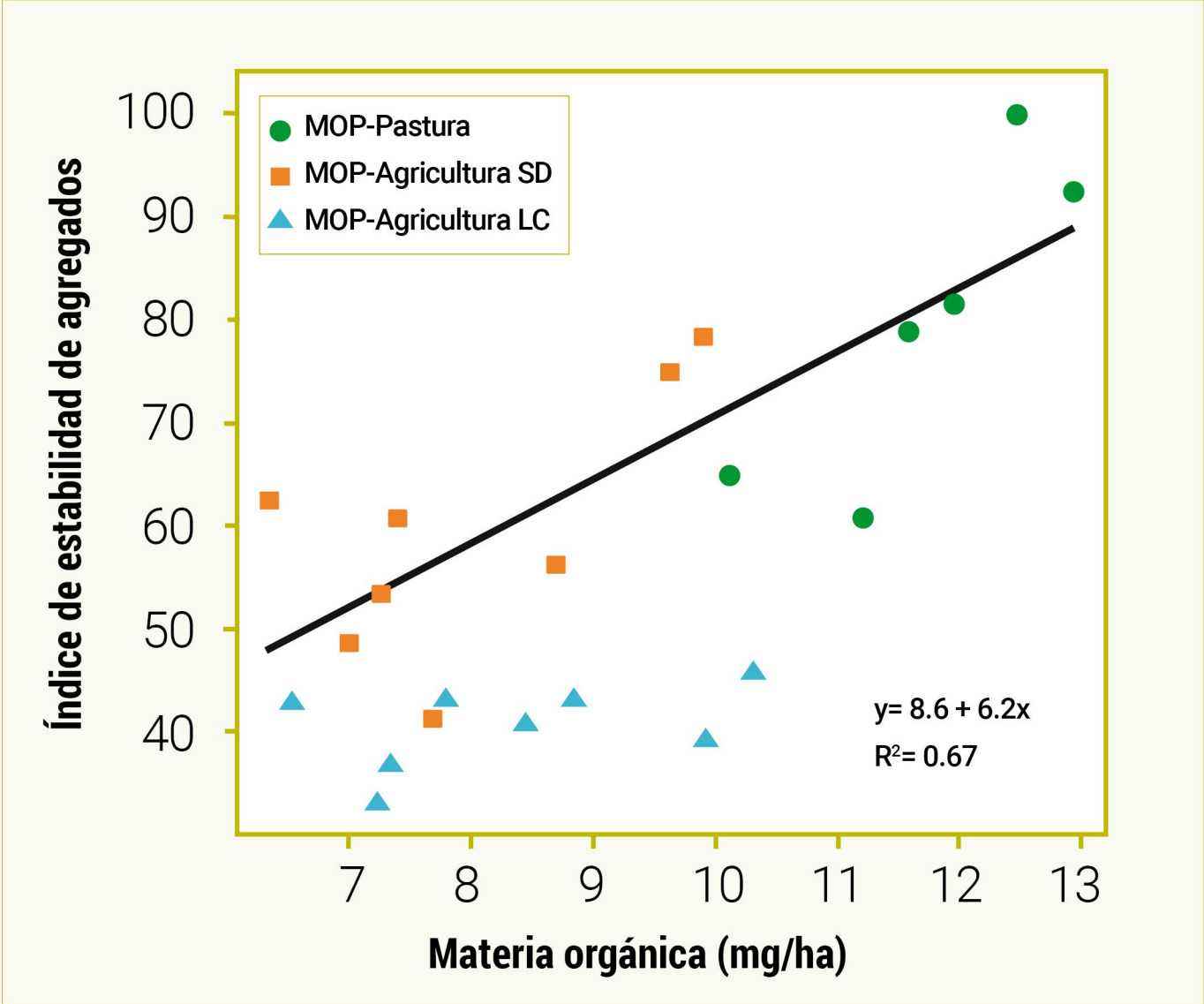
Las fracciones MOP y MOAM se diferencian por sus vías de formación y por su tiempo de permanencia en el suelo, pero también porque cumplen distintas funciones que dan soporte a servicios ecosistémicos (figura 1).

La formación y el reciclaje de agregados están directamente relacionados con la dinámica de la MOP. Al incorporar residuos vegetales al suelo se incrementa el crecimiento de hongos y microorganismos, igual que la producción de mucílagos, que promueven la formación de macroagregados alrededor de la MOP. Cuando el suelo es sometido a un disturbio, como ocurre con la labranza, los agregados se rompen y la MOP que se encontraba protegida dentro de ellos queda expuesta al consumo por parte de los microorganismos. En ensayos realizados en el sudeste bonaerense se observó que la estabilidad de agregados se relaciona positivamente con los contenidos de MOP en situaciones de bajos disturbios, como son las pasturas o la agricultura en

siembra directa (gráfico 2a). Sin embargo, en agricultura con labranza convencional no se encontró relación entre la estabilidad de agregados y la MOP; tampoco se encontró relación entre ésta y la MOAM en ninguna situación.

Otra función sumamente importante de la MOS es la provisión de nutrientes para el crecimiento vegetal. Esto ocurre cuando se descompone, proceso comúnmente conocido como *mineralización*. El nitrógeno es el macronutriente más demandado por los vegetales, por lo tanto, cuantificar la capacidad de la MOS para proveerlo es un desafío histórico de la investigación en fertilidad de suelos. El amonio liberado durante una incubación

Gráfico 2. a) Relación entre la estabilidad de los agregados y el contenido de MOP en un molisol de Balcarce con pasturas, agricultura en siembra directa y agricultura en labranza convencional

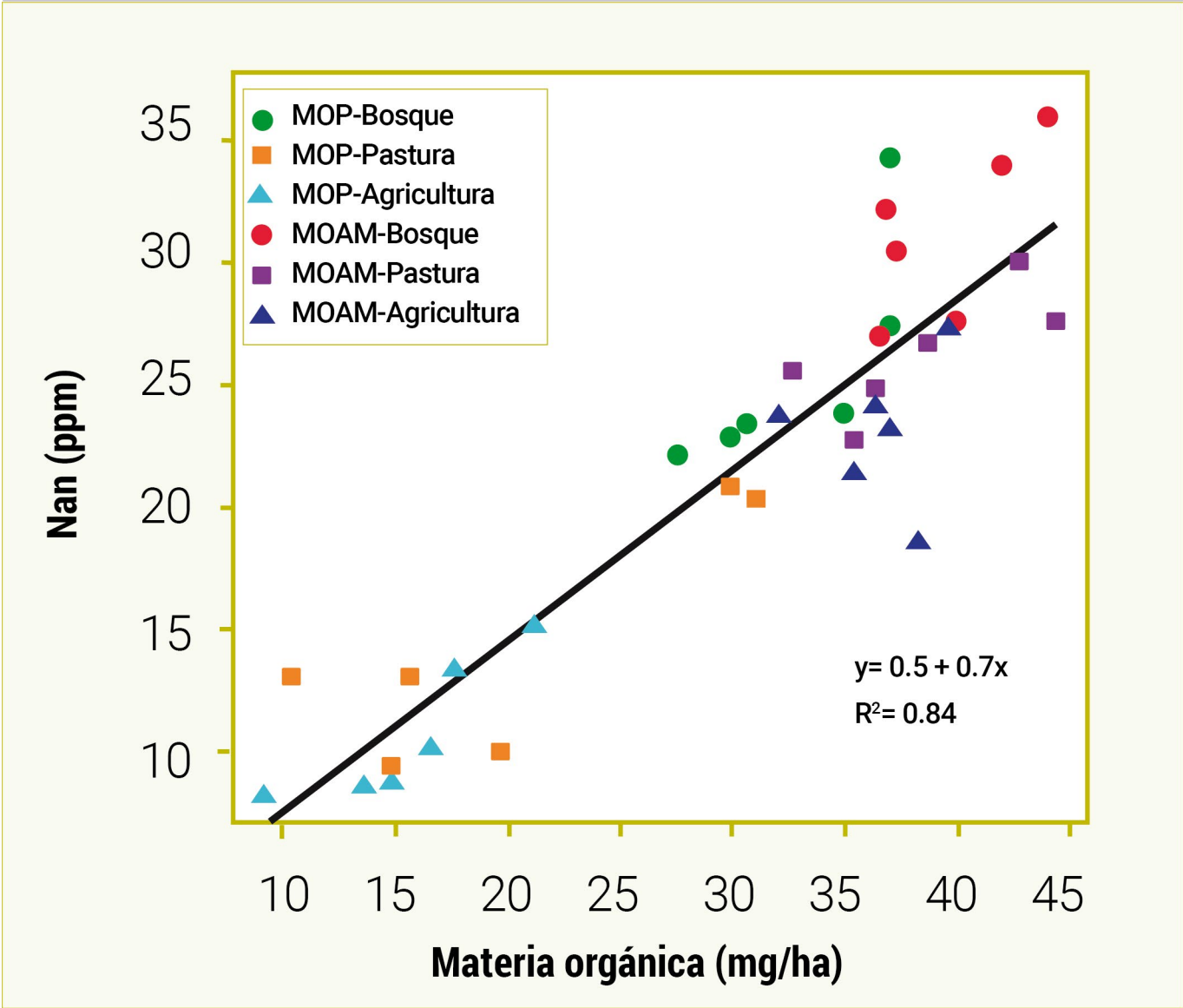


La profundidad de suelo es 0-20 cm. en todas las situaciones.
Fuente: Adaptado de Colombani, 2004, y Eiza, 2006.

anaeróbica corta (Nan) demostró ser un indicador preciso del nitrógeno potencialmente mineralizable. Como se mencionó anteriormente, la tasa de reciclado de la MOP es mucho mayor que la de la MOAM. Se ha observado que el Nan se relaciona positivamente con la MOS, y que esta relación es aún más estrecha con la MOP.

Debido a que la MOAM es la fracción más estable y de mayor tamaño, es difícil detectar cambios en sus contenidos y relacionarlos con funciones del suelo. No obstante, se ha demostrado que no es una fracción inerte; parte de ella se encuentra en continua formación y mineralización. Por lo tanto,

Gráfico 2. b) Relación entre el nitrógeno liberado durante una incubación anaeróbica corta (Nan) de la MOP y la MOAM, y contenidos de MOP y MOAM en suelos del Chaco Semiárido con pastura, bosque y agricultura



Fuente: Adaptado de Talab et al. [2019]).

es esperable que al mineralizarse libere nitrógeno al suelo, en particular, si se tiene en cuenta que representa una alta proporción de la MOS total y que la relación carbono/nitrógeno de la MOAM (por lo general de entre 8 y 13) es más baja que en el caso de la MOP (comúnmente, entre 10 y 40). Mediante la estimación del Nan en cada fracción de la MOS se observó una elevada contribución de la MOAM, incluso mayor a la de la MOP, particularmente en suelos agrícolas (gráfico 2b). Este resultado nos advierte que ciertos conocimientos no son alcanzables a través de la simple observación de los contenidos de materia, también es necesario entender cómo son los flujos que determinan dichos contenidos.

Cambios en la cobertura y en el balance de carbono

El reemplazo de la cobertura natural por cultivos anuales implica grandes cambios en el balance de carbono del suelo. En esta transformación, los aportes de residuos vegetales se modifican en cantidad, calidad, estacionalidad y en la partición entre residuos aéreos y subterráneos.

Mientras que los ecosistemas naturales presentan una elevada diversidad y aportan residuos aéreos de diferentes calidades a lo largo del año, los cultivos anuales concentran el aporte de residuos de una determinada calidad al final del ciclo. A su vez, la producción de biomasa subterránea de los cultivos es menor de la que presentan las especies de los ecosistemas naturales.

En general, la domesticación de las especies condujo a una disminución en la partición de asimilados hacia las raíces. Esto tuvo consecuencias negativas en los contenidos de MOS, debido a la mayor eficiencia de formación que presentan los residuos subterráneos respecto de los aéreos (gráfico 1). Por un lado, los menores aportes de biomasa radical

permiten explicar los menores contenidos de MOP respecto de los ecosistemas naturales. Por otro, la rizodeposición se encuentra limitada al período de crecimiento de los cultivos, mientras que en los ecosistemas naturales está presente durante todo el año, contribuyendo en gran medida a la formación de MOAM. Estos factores nos ayudan a entender por qué ha sido ampliamente documentado que el reemplazo de cobertura natural por cultivos reduce los contenidos de MOS.

La expansión agrícola en la Argentina comenzó a ser un factor importante en la transformación del paisaje a fines de la década del 60, con foco principal en la región pampeana, pero también con epicentro en el chaco subhúmedo y semiárido. La región pampeana es una extensa llanura de aproximadamente 50 millones de hectáreas donde las condiciones edáficas y climáticas proporcionan un ambiente adecuado para el crecimiento de pastizales (naturales e implantados) y de cultivos anuales; por lo tanto, se transformó en la principal zona de producción agrícola del país. Una forma de evaluar el deterioro del suelo que provocan las prácticas agrícolas es mediante su comparación con los ecosistemas naturales. La región pampeana fue perdiendo MOS conforme se expandían las tierras de cultivo sobre los pastizales naturales (figura 2). Durante la primera etapa (1960), las pérdidas promedio de MOS respecto de la condición nativa fueron relativamente bajas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las pérdidas promedio integran los cambios en las tierras transformadas a cultivos y pasturas y la proporción del área transformada dentro de cada departamento. Si consideramos únicamente las tierras de cultivos, las mayores pérdidas ocurrieron durante la primera etapa (alrededor del 30% respecto de la condición nativa), algo que podría deberse a que la agricultura se realizaba bajo el sistema de labranza convencional y a que los rendimientos de los cultivos eran bajos, produciendo pocos aportes de residuos al suelo. Dado que el disturbio ocasionado por la labranza rompe los meso y macroagregados del

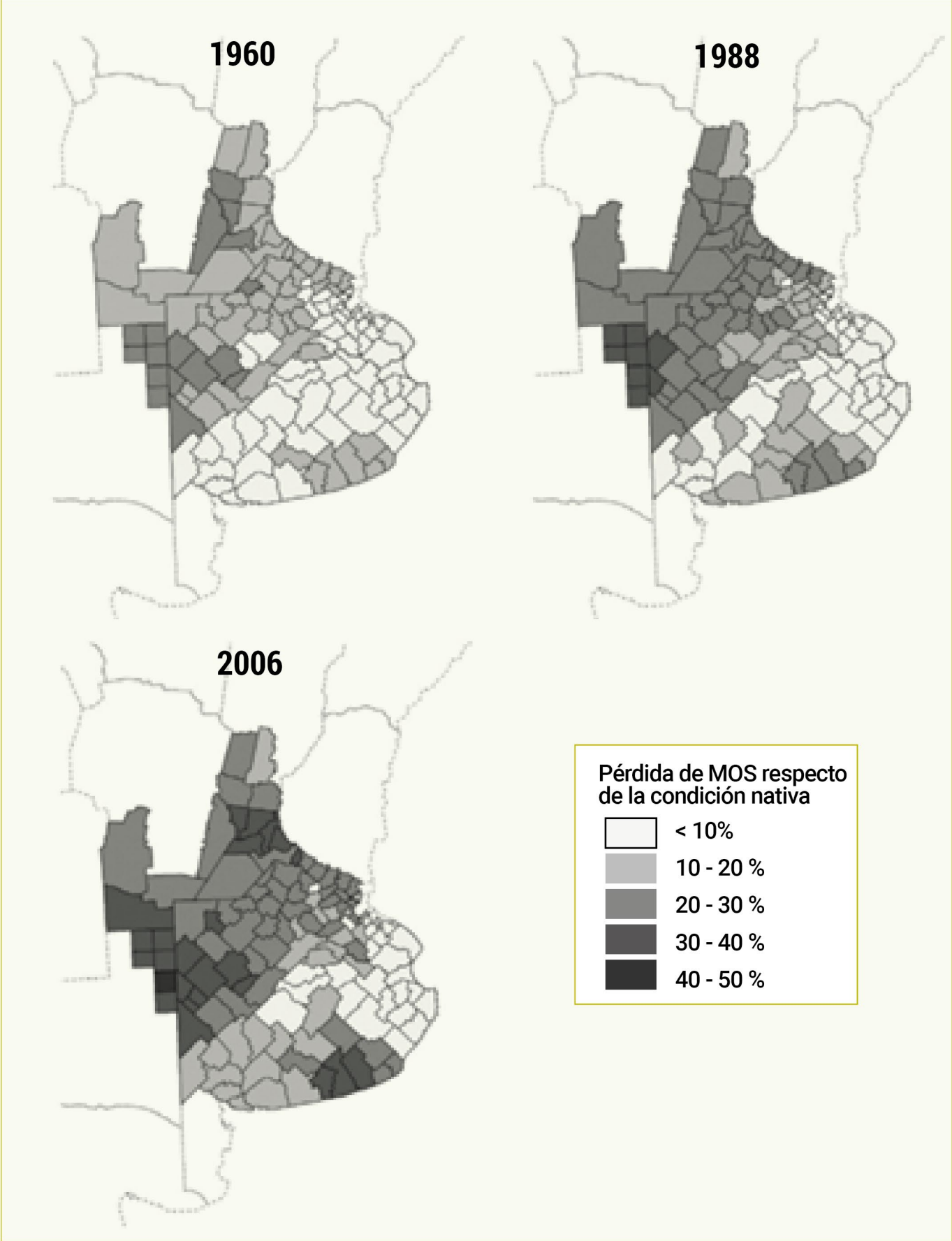
suelo, la MOS se vuelve más susceptible a la descomposición, principalmente en el caso de la MOP cuya protección depende exclusivamente de la oclusión dentro de los agregados.

Hasta 1988, la región pampeana se encontraba en una fase de expansión agrícola: a partir de allí entró en una fase de intensificación traccionada por grandes cambios tecnológicos, como el mejoramiento genético de las especies cultivadas, el aumento en el uso de fertilizantes, mejoras en la maquinaria agrícola, la introducción de soja transgénica tolerante al glifosato (*Glycine max* (L.) Merr.) y la adopción del sistema de siembra directa. Una de las consecuencias de estos cambios fue el desplazamiento de la frontera agrícola desde la región pampeana hacia el norte de la Argentina, principalmente hacia el chaco semiárido. Si bien este proceso tuvo múltiples causas (económicas, sociales y ambientales), el cultivo de soja, sumado al sistema de siembra directa fue, sin dudas, un factor de suma importancia. Los contenidos de MOS en esta región son bajos, incluso en la condición nativa (el bosque), pero son sumamente importantes para que el suelo mantenga su capacidad de proveer servicios ecosistémicos. El reemplazo de bosque por cultivos redujo los contenidos de MOS a niveles preocupantes, por debajo de los umbrales críticos. El avance de la agricultura en regiones con alta fragilidad ambiental, como es el caso del chaco semiárido, no sólo puede producir sistemas agrícola-ganaderos poco sostenibles, sino que también puede generar procesos de degradación ambiental a escala de paisaje, como las tormentas de polvo ocurridas en regiones semiáridas.

Dentro de la región pampeana, el proceso de intensificación agrícola produjo tres grandes cambios en los sistemas de producción que afectaron el balance de carbono del suelo, dos de ellos en forma positiva y uno en forma negativa. Los positivos fueron el aumento en los rendimientos por hectárea de los cultivos de granos, mejorando los aportes de resi-

duos al suelo, y la adopción del sistema de siembra directa. La disminución de disturbios en la siembra directa permitió aumentar la protección de la MOS y, en algunas situaciones,

Figura 2. Pérdidas de MOS expresadas como porcentaje de su contenido en la condición nativa (pastizales naturales), en la región pampeana y en tres años diferentes (1960, 1988 y 2006).



Fuente: Adaptado de Villarino et al. (2014).

restaurar parte de las reservas que se habían perdido con la labranza. Además, tuvo un efecto importante en la reducción de pérdidas de suelo provocadas por la erosión. Sin embargo, entre 1988 y 2006 las pérdidas aumentaron (figura 2). Una parte de estas pérdidas podría explicarse porque, incluso a tasas mucho menores que durante la primera etapa, los cultivos continuaron avanzando sobre las pocas áreas naturales remanentes. Otra parte se debe a un cambio que tuvo un efecto negativo sobre el balance de carbono: la disminución de rotaciones mixtas (ganadero-agrícolas), acompañada por el desplazamiento de la actividad ganadera hacia zonas marginales o su transformación en sistemas de engorde intensivo a corral (conocido como *feed lot*). Las pasturas perennes presentes en las rotaciones mixtas desempeñan un rol fundamental en el balance de carbono, permitiendo que el sistema tenga períodos donde se favorece la acumulación de MOS. Por lo tanto, la segregación de cultivos y pasturas tuvo un impacto negativo sobre el balance de carbono.

Desde hace algunos años se sostiene que la intensificación ecológica de la agricultura es el camino para aumentar los niveles de MOS. La siembra de cultivos durante los períodos de barbecho permitiría lograr que los aportes por rizodeposición ocurran a lo largo de todo el año, como en los ecosistemas naturales. Además, si el objetivo de estos cultivos no es la cosecha, las especies a sembrar podrían contar con una domesticación distinta a favor de la producción subterránea. Finalmente, la siembra de mezclas de especies durante los períodos de barbecho permitiría contar con mayor diversidad en la calidad de los aportes.

Bibliografía

Berg, B., McClaugherty, C. "Decomposition, humus formation, carbon sequestration". *Plant litter*. 2nd ed. Berlin Heidelberg: Springer. 2008.

Cotrufo, M.F., Soong, J.L., Horton, A.J., Campbell, E.E., Haddix, M.L., Wall, D.H., Parton, W.J., "Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss". *Nature Geoscience* 8, 776. 2015.

Colombani, E. *Evaluación de propiedades físicas de suelos del sudeste bonaerense bajo distintos manejos*. Trabajo de graduación de la carrera de Ingeniería Agronómica, FCA, UNMdP. 2004.

Dominati, E., Patterson, M., Mackay, A. "A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils". *Ecological Economics* 69, 1858-1868. 2010.

Domínguez, G., García, G., Studdert, G., Agostini, M., Tourn, S., Domingo, M. "Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as a soil quality/health indicator?" *Spanish Journal of Soil Science* 6, 82-97. 2016.

Echeverría, H., San Martín, N., Bergonzi, R. "Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos". *Ciencia del Suelo* 18, 9-16. 2000.

Eiza, M.J. *Dinámica de la materia orgánica particulada bajo distintas rotaciones y sistemas de labranza*. Tesis de Magister Scientiae en Producción Vegetal. Área de Posgrado en Producción Vegetal, FCA, UNdMP. 2005.

Fisher, B., Turner, R.K., Morling, P. "Defining and classifying ecosystem services for decision making". *Ecological economics* 68, 643-653. 2009.

Gasparri, N.I., Grau, H., Angonese, J.G. "Linkages between soybean and neotropical deforestation: coupling and transient decoupling dynamics in a multi-decadal analysis". *Global Environmental Change* 23, 1605-1614. 2013.

Gasparri, N.I., Grau, H.R. "Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina" (1972–2007). *Forest ecology and Management* 258, 913-921. 2009.

Guo, L.B., Gifford, R. "Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis". *Global change biology* 8, 345-360. 2002.

Haines-Young, R., Potschin, M. "The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being". In: Raffaelli, D.G., Frid, C. (Eds.), *Ecosystem Ecology: a new synthesis*. Cambridge University Press Cambridge, pp. 110-139. 2010.

Hall, A.J., Rebella, C.M., Ghera, C.M., Culot, J.P. "Field-crop systems of the Pampas". In: Pearson, C.J. (Ed.), *Ecosystems of the World*. Elsevier, Amsterdam, pp. 413-450. 1992.

Jilling, A., Keiluweit, M., Contosta, A.R., Frey, S., Schimel, J., Schnecker, J., Smith, R.G., Tiemann, L., Grandy, A.S. "Minerals in the rhizosphere: overlooked mediators of soil nitrogen availability to plants and microbes". *Biogeochemistry* 139, 103-122. 2018.

Lavallee, J.M., Soong, J.L., Cotrufo, M.F. "Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century". *Global change biology*. 2019.

Manuel-Navarrete, D., Gallopín, G.C., Blanco, M., Díaz-Zorita, M., Ferraro, D.O., Herzer, H., Laterra, P., Murmis, M.R., Podestá, G.P., Rabinovich, J., Satorre, E.H., Torres, F., Viglizzo, E.F. *Multi-causal and integrated assessment of sustainability: the case of agriculturization in the Argentine Pampas*. *Environment, Development and Sustainability*. 11, 621-638. 2007.

Paruelo, J.M. "Valoración de servicios ecosistémicos y planificación del uso del territorio ¿es necesario hablar de dinero?" In: Laterra, P., Jobbágy, E.G., Paruelo, J.M. (Eds.), *Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, Herramientas y Aplicaciones para el Ordenamiento Territorial*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 121-139. 2011.

Reboratti, C. "La Argentina rural entre la modernización y la exclusión". In: Geraiges de Lemos, A.I., Arroyo, M., Silveira, M. (Eds.), *América Latina: cidade, campo e turismo*, San Pablo, Brasil, pp. 175-187. 2006.

Reussi Calvo, N.I., Studdert, G.A., Calandroni, M.B., Diovisalvi, N.V., Cabria, F.N., Berardo, A. "Nitrógeno incubado en anaerobiosis y carbono orgánico en suelos agrícolas de Buenos Aires". *Ciencia del suelo* 32, 189-196. 2014.

Schmidt, M.W., Torn, M.S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I.A., Kleber, M., Kogel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D.A., Nannipieri, P., Rasse, D.P., Weiner, S., Trumbore, S.E. "Persistence of soil organic matter as an ecosystem property". *Nature* 478, 49-56. 2011.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K. "A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics". *Soil and Tillage Research* 79, 7-31. 2004.

Smith, P., House, J.I., Bustamante, M., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., West, P.C., Clark, J.M., Adhya, T., Rumpel, C. "Global change pressures on soils from land use and management". *Global change biology* 22, 1008-1028. 2016.

Studdert, G.A., Echeverría, H.E., Casanovas, E.M. "Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll". *Soil Science Society of America Journal* 61, 1466-1472. 1997.

Talab, E., Villarino, S.H., Di Gerónimo, P.F., Videla, C., Piñeiro, G. "¿Qué fracción de la materia orgánica del suelo aporta el nitrógeno para los cultivos, la fracción particulada o la fracción asociada a los minerales?", *XXII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, del 7 al 11 de octubre de 2019, Montevideo, Uruguay. 2019.

Viglizzo, E.F., Frank, F.C. "Ecological interactions, feedbacks, thresholds and collapses in the Argentine Pampas in response to climate and farming during the last century". *Quaternary International* 158, 122-126. 2006.

Viglizzo, E.F., Lértora, F., Pordomingo, A.J., Bernardosc, J.N., Robertoa, Z.E., Del Valle, H. "Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina". *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83, 65-81. 2001.

Villarino, S.H., Pinto, P., Piñeiro, G. "Raíces para formar materia orgánica particulada y rizodeposición para formar materia orgánica asociada a los minerales". *XXII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, del 7 al 11 de octubre de 2019, Montevideo, Uruguay. 2019a.

Villarino, S.H., Studdert, G.A., Laterra, P. "How does soil organic carbon mediate trade-offs between ecosystem services and agricultural production?" *Ecological Indicators* 103, 280-288. 2019b.

Villarino, S.H., Studdert, G.A., Laterra, P., Cendoya, M.G. "Agricultural impact on soil organic carbon content: Testing the IPCC carbon accounting method for evaluations at county scale". *Agriculture, Ecosystems & Environment* 185, 118-132. 2014.

Waring, S., Bremner, J. "Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability". *Nature* 201, 951-952. 1964.

Young, I.M., Crawford, J.W. "Interactions and self-organization in the soil-microbe complex". *Science* 304, 1634-1637. 2004.

6

Aspectos clave del manejo de cultivos de servicios



Dr. Gervasio Piñeiro Guerra e Ing. Agr. Priscila Pinto

Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas

Vinculadas a la Agricultura, Universidad

de Buenos Aires. Conicet.

En el presente capítulo se presenta la idea conceptual que está detrás de los cultivos de servicios, cuáles son los principios básicos comunes a todos ellos y las claves para su inclusión exitosa en los sistemas productivos. Luego, se detallan los aspectos que se consideran más relevantes para su manejo en virtud del servicio ecosistémico que se busca reponer o fomentar.

En algunos casos, al sembrar cultivos de servicios puede tener lugar una reducción en la provisión de ciertos servicios ecosistémicos, tanto de regulación y soporte como de abastecimiento (menor rendimiento). Por lo tanto, también se alerta al productor para que adopte los recaudos necesarios para evitar que se produzcan efectos no deseados.

La idea de sembrar cultivos que no serán cosechados no es nueva, pero relacionar sus beneficios con la provisión de servicios ecosistémicos es una propuesta reciente que ayuda a comprender el rol clave de estos cultivos en los agroecosistemas.

El diseño de modelos productivos basados en los principios de la Revolución Verde se centraba casi exclusivamente en la obtención de productos cosechables, sin una mirada sistémica ni una evaluación del impacto ambiental de la agricultura. Por el contrario, el concepto de *servicios ecosistémicos* ayuda a visualizar la multiplicidad de beneficios que brindan los agroecosistemas a los seres humanos (ver capítulo 2). Por esta razón, los cultivos de cobertura, los abonos verdes, los cultivos *trampa*, los *puentes verdes* y una variedad de otros cultivos multipropósito pueden ser pensados como herramientas para brindar servicios de regulación y soporte al agroecosistema. Así, es posible pensar en una amplia diversidad de objetivos o servicios que se podrían obtener con estos cultivos, tanto a escala local (es decir, servicios ecosistémicos que afectan a la producción agropecuaria), como regional (que se brindan en el medio rural) o global (que benefician a todo el planeta).

Pensar a los cultivos de servicios como una inversión es clave, ya que ayudan a recuperar la estructura y el funcionamiento de agroecosistemas degradados y, por lo tanto, su productividad y sostenibilidad a largo plazo.

Manejo general de cultivos de servicios

Los cultivos de servicio tienen como primer objetivo destinar la energía que han capturado durante la fotosíntesis a mejorar la provisión de servicios ecosistémicos de regulación y soporte. Por lo tanto, los principios generales del manejo y la selección de especies para cultivos de servicio deberán estar orientados a capturar energía del sol y canalizarla hacia el servicio deseado. Para lograrlo sin provocar una disminución de los productos cosechables, los cultivos de servicio deben incrementar la captura de energía y destinar ese plus a la provisión de los servicios buscados.

Es importante señalar que cada ambiente tiene una disponibilidad limitada para capturar energía en función de sus particularidades. Por lo tanto, será necesario considerar cuánta energía se desea cosechar y qué porcentaje se destinará a la provisión de servicios de regulación y soporte. Sin embargo, en muchos agroecosistemas de la región se es muy ineficiente en la captura de energía y recursos, por lo tanto, existe un amplio margen de mejora.

Los cultivos de servicio tienen como segundo objetivo mejorar el ciclo de la materia en los agroecosistemas. Por lo tanto, los principios generales del manejo y la selección de especies para cultivos de servicios deberán estar orientados a mantener un balance de agua similar al de los ecosistemas naturales y, por otro lado, a sincronizar la oferta y la demanda de nutrientes para favorecer su acumulación, disminuyendo las pérdidas.

Numerosos trabajos demuestran que los períodos de barbecho, inicialmente destinados a la captura de agua y a la liberación de nutrientes para el cultivo de renta, resultan contraproducentes para la salud del suelo: provocan importantes pérdidas de nutrientes y son ineficientes en la captura y retención del agua. En cambio, los cultivos de servicio bien manejados no sólo no consumen el agua disponible para el cultivo de renta, sino que pueden, además, aumentar su captura y almacenamiento. Por otro lado, al eliminar las pérdidas de nutrientes e incrementar sus entradas, los cultivos de servicios favorecen la formación de materia orgánica. Esta funciona como una verdadera “caja de ahorro” de nutrientes para los cultivos y mejora la provisión de una variedad de servicios de regulación y soporte, como la infiltración de agua y su almacenaje, la densidad aparente del suelo, su porosidad y aireación, la capacidad de depuración, etcétera.

Un tercer objetivo de los cultivos de servicio es aumentar la cantidad de información en los agroecosistemas. La cantidad de información o biodiversidad que posea un sistema determinará la cantidad de procesos y funciones que éste sea capaz de realizar. Por ello, los principios generales del manejo y la selección de especies para cultivos de servicios deberán orientarse a agregar al agroecosistema la información necesaria para realizar los procesos que aseguren la provisión de los servicios de regulación y soporte deseados.

Es posible que las especies y manejos que contengan dicha información no estén disponibles y que sea necesario redireccionar muchos de los esfuerzos de investigación (tanto públicos como privados) a desarrollarlos. El mejoramiento genético de los cultivos de servicios es aún muy incipiente, sin embargo, los esfuerzos de selección tendientes a lograr distintos objetivos resultarán clave para el futuro de la agricultura.

Muchas de estas especies y manejos no son nuevas, ya que muchos de los agroecosistemas anteriores a la Revolución Verde contenían parte de esta información (rotación con pasturas, sistemas mixtos). En este sentido, será conveniente recuperar prácticas agrícolas y adaptarlas a los sistemas de producción actuales. El desarrollo de nuevas especies y variedades de cultivos de servicio y su manejo deberán ser los pilares de la nueva agricultura.

Diseño de agroecosistemas con cultivos de servicios

Para mejorar los servicios de regulación y soporte mediante una mejor captación y uso de la energía, los nutrientes y el agua, los cultivos de servicios deberían ocupar aquellos períodos de la rotación en que no se desarrollan cultivos de renta y hay recursos liberados, o bien ser intersembrados con éstos.

Debido a la baja cantidad de cultivos por año presentes en los sistemas actuales de producción extensiva, la incorporación de cultivos de servicio como componentes temporales de la rotación constituye una gran oportunidad. Estas *ventanas* de ocupación tienen lugar principalmente durante los barbechos de invierno, aunque no exclusivamente, y diferirán entre regiones, ambientes, tipos de suelo, etcétera. Es importante considerar que siempre es mejor tener el suelo cubierto con raíces vivas (incluso con doble cultivo de renta si se reponen los nutrientes) antes que “en descanso”. En los períodos de barbecho el suelo no descansa, sino que se suspenden las entradas de “alimento”; como consecuencia, la materia orgánica disminuye debido a la actividad biológica de los descomponedores. Los cultivos de servicios sembrados en estas ventanas aumentarán la captura y la eficiencia en el uso de la energía, agua y nutrientes, y transformarán idealmente a los ecosistemas actuales en “siempre verdes”, por lo que serán un componente central para la intensificación ecológica.

Es importante ocupar todas las *ventanas*, incluso las más cortas, seleccionando los cultivos de servicio y los manejos más adecuados (siembras en pre cosecha, fertilización, uso de cultivos de ciclos cortos) para mantener la actividad fotosintética la mayor cantidad de tiempo posible, simulando las condiciones del ecosistema natural.

La siembra de cultivos de servicios tiene como objetivo primordial la provisión de uno o varios servicios de regulación y soporte, pero debido a que existen compromisos en la asignación de energía, es posible que al priorizar algunos servicios se reduzca la provisión de otros. Por ejemplo, la formación de materia orgánica y la mejora en las propiedades físicas del suelo son dos servicios de regulación y soporte correlacionados, que pueden priorizarse en forma conjunta. Por el contrario, un aumento en la fijación biológica de nitrógeno por cultivos de servicio de leguminosas podría elevar las emisiones de óxido nitroso (un gas de efecto invernadero). Es así como surgen asociaciones positivas o negativas entre distintos servicios ecosistémicos, las cuales deberán ser tomadas en cuenta al priorizar los objetivos de los cultivos de servicios y el diseño de las rotaciones.

Debido a la gran heterogeneidad ambiental y productiva y a la diversidad de servicios ecosistémicos de regulación y soporte posibles, no existe una “receta” para el manejo y la selección de las especies de cultivos de servicios, sino principios ecológicos básicos para diseñar los agroecosistemas.

Pero, además, los compromisos mencionados también pueden ocurrir entre los servicios de regulación y soporte y los de abastecimiento. Es muy importante prestarles especial atención ya que pueden impactar negativamente en la producción. Por ejemplo, la siembra de un cultivo de servicio para el control de malezas podría disminuir el rendimiento del

cultivo de renta siguiente si el cultivo de servicio es suprimido tarde y consume una parte importante del agua almacenada en el suelo. Otros ejemplos reportados de posibles compromisos son la inmovilización de nutrientes, la mayor incidencia de plagas o enfermedades (aunque la mayoría de las veces sucede lo contrario), la mayor severidad de las heladas, la menor temperatura del suelo para la germinación temprana y un aumento en las emisiones de óxido nitroso. La mayoría de estos efectos no deseados tienen lugar cuando se realizan prácticas de manejo inadecuadas y pueden ser evitados o mitigados con medidas apropiadas.

Al considerar todos los compromisos o asociaciones posibles entre los servicios ecosistémicos que brindan los cultivos de servicios surge la posibilidad de priorizar un servicio de regulación y soporte en particular, pero también de compatibilizarlo con servicios de abastecimiento (pastoreo). De la misma manera, en un cultivo de renta, donde se prioriza la cosecha, podría favorecerse algún manejo particular que promueva un servicio ecosistémico de regulación y soporte (elección de variedades con mayor crecimiento radical, adición de bacterias promotoras de crecimiento que lo favorezcan y por ende la formación de materia orgánica). En otras palabras, todos los cultivos brindan un abanico de servicios ecosistémicos, pero mientras en los cultivos de renta se priorizan los servicios de abastecimiento, en los cultivos de servicios se priorizan los de regulación y soporte. En función de estos compromisos y asociaciones, la diversidad de especies (cultivos de renta, cultivos de servicios, presencia de herbívoros domésticos, microorganismos, enemigos naturales) y su complementación en el tiempo o en el espacio pueden generar agroecosistemas equilibrados y sostenibles, que provean varios servicios ecosistémicos en simultáneo.

Finalmente, una adecuada selección de los cultivos de servicios y su manejo tiene que considerar, además de la priori-

zación de servicios ecosistémicos, las características agronómicas y el ambiente del agroecosistema. Para lograr una adecuada selección de las especies de cultivos de servicios, puras o en mezclas, es importante considerar sus requerimientos y tolerancia (el llamado *nicho ecológico*): por ejemplo, las temperaturas óptimas, la vulnerabilidad frente a heladas, el ciclo de crecimiento y la tolerancia al encharcamiento.

En el caso de las mezclas, conocer la complementariedad y las asociaciones positivas entre especies resulta de vital importancia. En este sentido, la combinación de distintos grupos funcionales (los más utilizados son gramíneas, leguminosas y crucíferas) suele producir sinergias en el comportamiento de las mezclas.

También deberán evaluarse otras características de las especies como la posibilidad de supresión mecánica o química, la consistencia de las siembras *a voleo* o la posibilidad de que se conviertan en malezas resistentes. Además, es importante considerar las medidas de manejo que acompañan a los cultivos de servicios, tales como la fertilización, las fechas y métodos de siembra y supresión, la inoculación en el caso de las leguminosas, o la adición de bacterias promotoras de crecimiento radical. Si bien gran parte de esta información está disponible es importante el rol conjunto y cooperativo en los procesos de innovación de los organismos de ciencia y técnica (INTA, universidades) y de las asociaciones de productores para generar y ordenar las características agronómicas y los servicios de regulación y soporte que priorizan las distintas especies y mezclas de cultivos de servicios. Finalmente, los costos de las distintas alternativas y la capacidad de generar opciones de manejo novedosas influirán en la decisión final respecto de la inclusión de los cultivos de servicios en los agroecosistemas.

Servicios ecosistémicos

Como se mencionó, cada cultivo de servicio ofrece una variedad de beneficios en términos de soporte y regulación, aunque eventualmente pueden ser utilizados para obtener también algún servicio de abastecimiento (pastoreo, producción de semillas), resguardando los compromisos en la asignación de energía y recursos.

En esta sección se describirán los rasgos de las especies que favorecen la provisión de distintos servicios ecosistémicos, así como los manejos sugeridos y los principales compromisos o riesgos en los que se puede incurrir al sembrar cultivos de servicios. Esta descripción pretende destacar aquellos aspectos del manejo que se consideran relevantes para la región agrícola argentina.

Probablemente, la mezcla de especies sea la opción más habitual para muchos de los servicios ecosistémicos buscados. Al regular las proporciones y las especies es posible priorizar un servicio ecosistémico en particular, disminuyendo al mismo tiempo los compromisos en la provisión de otros. Por esta razón, el diseño equilibrado de las mezclas debe constituir uno de los pilares de la siembra de cultivos de servicio. Dichas mezclas deberán ser confeccionadas tomando en cuenta las características del período que ocupará el cultivo de servicio, considerando la complementariedad espacial y temporal entre grupos funcionales (ciclos de crecimientos distintos).

A su vez, la confección de mezclas que provean distintas calidades de residuos es clave para sincronizar la oferta de nutrientes del cultivo de servicio y la demanda del de renta. Al mismo tiempo, es necesario dejar el período necesario para la recarga del perfil, que dependerá de las lluvias locales.

Al balancear las especies en la mezcla también se debe procurar cortar el ciclo de transmisión de enfermedades o plagas de los cultivos de servicio al cultivo de renta. De esta forma, mediante el manejo y la selección de proporciones y especies se hallará un equilibrio entre los servicios ecosistémicos priorizados y los riesgos de disminuir excesivamente la provisión de otros.

Formación de materia orgánica

Para elevar el contenido de materia orgánica del suelo es necesario sembrar cultivos que aporten biomasa de diferentes calidades y que tengan una elevada producción de raíces finas y exudados, ya que cerca del 50% de la biomasa de raíces pasará a formar parte de la materia orgánica del suelo, pero sólo lo hará un 5% de la biomasa aérea.

Tal como se detalla en el capítulo 5, la materia orgánica se divide en dos fracciones que se distinguen en su composición, funcionamiento y permanencia. La materia orgánica particulada (MOP) es la fracción de mayor tamaño de partícula y contribuye principalmente a la formación y el reciclaje de los agregados del suelo. Para que esta fracción crezca es necesario que los cultivos aporten residuos de biomasa de descomposición lenta (alta relación C:N) y una gran cantidad de raíces finas. Estos residuos promueven la formación de macroagregados al incrementar el crecimiento de hongos y microorganismos que producen mucílagos, especialmente los residuos de las raíces por su íntimo contacto con la matriz del suelo. Por otro lado, la materia orgánica asociada a los minerales (MOAM) constituye la fracción de menor tamaño de partícula y es la que realiza los mayores aportes de nitrógeno para las plantas. Para aumentar esta fracción es necesario que los cultivos aporten residuos de biomasa de descomposición rápida (baja relación C:N y altas cantidades de nitrógeno) y que se reduzcan los períodos de barbecho para contar

con aportes de exudados radicales durante la mayor parte del año. Estos compuestos promueven el crecimiento y reciclado de microorganismos que, junto a las sustancias simples excretadas por las raíces, darán origen a esta fracción. Es por ello que la siembra de una mezcla de cultivos de servicios que aporte distintas calidades de biomasa (gramíneas, leguminosas, crucíferas, etc.) resulta fundamental para contribuir a la formación de ambas fracciones en simultáneo.

Además, para maximizar la acumulación de materia orgánica es deseable tener la mayor cantidad posible de aportes de biomasa (aérea, pero principalmente subterránea) y que dichos aportes ocurran durante la mayor parte del año. Para ello, siempre que sea factible, es recomendable sembrarlos a voleo o con siembras aéreas antes de cosechar el cultivo de renta y extender su ciclo hasta la siembra en verde del próximo cultivo de cosecha. Las especies elegidas deben ser de ciclo largo. Su acumulación de biomasa aérea puede ser lenta al inicio, porque la prioridad es que aporten raíces y exudados radicales durante todo el año, de manera similar a lo que ocurre en los ecosistemas naturales. Sin embargo, la maximización de este servicio traerá aparejados compromisos que podrían afectar el rendimiento del cultivo de renta siguiente: por un lado, la eliminación del período de barbecho compromete la recarga de agua en el perfil incrementando el riesgo de déficit hídrico para el cultivo siguiente. Por otro, la supresión tardía de los cultivos de servicios podría provocar una inmovilización del nitrógeno en el suelo, principalmente con cultivos de servicio de alta C:N suprimidos tarde o con sembrado en verde del cultivo de renta.

Por último, en caso de sembrar cultivos de servicios con especies puras, se podrían transmitir algunas plagas y enfermedades, sobre todo cuando se siembran cultivos de renta de las mismas familias.

Cuadro 1. Formación de materia orgánica

Rasgos deseados de las especies	Aportes elevados de biomasa de diferentes calidades	Alta producción de raíces finas y exudados radicales.	Alta diversidad de cultivos.
Sugerencias de manejo	Minimizar la duración de los períodos de barbecho. Ideal siembras tempranas de cultivos de servicio <i>a voleo</i> sobre el de renta. Idealmente priorizar la siembra en verde del cultivo de renta siguiente.	Priorizar aportes subterráneos. La acumulación de biomasa aérea puede ser baja, sobre todo si se producen raíces la mayor parte del año.	Sembrar mezclas de gramíneas y leguminosas o más familias.
Potenciales riesgos o compromisos	Disminuir las reservas de agua del suelo para el cultivo de renta. Inmovilización de nitrógeno (con barbechos cortos).		Transmitir plagas y enfermedades del cultivo de servicios al de renta (cuando son especies emparentadas).

Descompactación y mejora de propiedades físicas

Para descompactar y mejorar las propiedades físicas del suelo es necesario sembrar cultivos que presenten una elevada producción de raíces finas y gruesas. Los cultivos de servicios con sistemas radicales más finos pueden aumentar la agregación del suelo, lo que determina la tasa de infiltración del agua y la porosidad total. Estas propiedades son muy importantes porque evitan el anegamiento y favorecen la capacidad de almacenaje del recurso hídrico.

Por otra parte, cuando el suelo presenta impedancias mecánicas que dificultan la penetración y exploración por las raíces, la siembra de cultivos de servicios con raíces gruesas puede morigerar esta dificultad. Las raíces de mayor diámetro atraviesan las capas endurecidas del suelo y crean bioporos que favorecen la exploración del cultivo de renta siguiente. Es por ello que la siembra de una mezcla de gramíneas (que producen raíces finas) y crucíferas (de raíces gruesas) resulta fundamental para favorecer las propiedades físicas del suelo.

Si este es el caso, es posible que los cultivos de servicios sean de ciclo corto y permitan contar con un breve período de barbecho previo al cultivo de renta. Estos cultivos de servicios podrían sembrarse en precosecha o en poscosecha con siembra terrestre en línea o a voleo. La prioridad es maximizar la producción de raíces, lo que se puede lograr en períodos breves con cultivos de crecimiento rápido. Si bien esta posibilidad permite reducir el compromiso con la disponibilidad de agua para el cultivo siguiente, la elección de cultivos de ciclo corto puede traer aparejadas otras adversidades. Por un lado, podría permitir el crecimiento de malezas previo al cultivo de renta. Como consecuencia, aumentarían las aplicaciones de herbicidas en el año, porque el control quedaría desacoplado respecto de la interrupción del cultivo de servicios.

Por otro lado, si los cultivos de servicios son de ciclo muy corto podrían producir semillas y construir un banco en el suelo. Al año siguiente, si la emergencia del cultivo de servicios ocurriera en ausencia de cultivos de renta, esto podría constituir un beneficio porque permitiría contar con un nuevo cultivo de servicios sin necesidad de sembrarlo. Sin embargo, cuando su crecimiento no es planificado puede causar inconvenientes si se siembran cultivos de renta durante el período que generalmente se encuentra con barbecho (cultivos de invierno en zonas con predominio de cultivos de verano).

Cuadro 2. Descompactación y mejora de propiedades físicas		
Rasgos deseados de las especies	Aportes elevados de biomasa de diferentes calidades	Alta diversidad de cultivos.
Sugerencias de manejo	Minimizar la duración de los períodos de barbecho. Ideal siembras tempranas de cultivos de servicio a voleo sobre el de renta. Idealmente priorizar la siembra en verde del cultivo de renta siguiente.	Sembrar mezclas de gramíneas y leguminosas o más familias.
Potenciales riesgos o compromisos	Disminuir las reservas de agua del suelo para el cultivo de renta. Inmovilización de nitrógeno (con barbechos cortos).	Transmitir plagas y enfermedades del cultivo de servicios al de renta (cuando son especies emparentadas).

Control de malezas

Para controlar malezas y reducir la aplicación de herbicidas es necesario sembrar cultivos que presenten una elevada tasa de crecimiento, aporten rastrojos de lenta descomposición y produzcan compuestos alelopáticos (sustancias químicas que impiden el crecimiento de las malezas). En este caso, conviene priorizar cultivos de servicios que efectúen una rápida captura de los recursos para que compitan con las malezas e introduzcan cambios en el ambiente por medio de sus raíces, por el rastrojo que dejan en superficie o por las sustancias que liberen al suelo.

Está documentado que las raíces de algunas especies como el centeno, pueden producir compuestos que reducen la emergencia de malezas. Por otro lado, el aporte de rastrojo de lenta descomposición provoca cambios en el ambiente que también disminuyen la emergencia y el crecimiento de las malezas. A su vez, permiten un control más efectivo porque concentran la emergencia en el tiempo y determinan una mayor uniformidad en el desarrollo de las plantas. Es por ello que la provisión de este servicio no sólo aporta beneficios a escala local, sino también regional ya que disminuye la presión de selección de los herbicidas. En este sentido, cambiar el mecanismo de control resulta muy prometedor para disminuir la aparición de resistencia.

Para maximizar este servicio se recomienda la siembra temprana de cultivos de servicios de gramíneas o mezclas. Si bien las leguminosas pueden lograr un buen control de malezas (principalmente *Vicia villosa*), las gramíneas tienen un efecto residual debido a la lenta descomposición de su rastrojo. Esta residualidad permite contar con un breve período de barbecho previo al cultivo de renta e incrementar las reservas de agua. Sin embargo, la lenta descomposición del rastrojo compromete la disponibilidad del nitrógeno para el cultivo siguiente. Estos resi-

duos favorecen la inmovilización microbiana porque presentan una elevada concentración de compuestos recalcitrantes, como la lignina, y una alta relación C:N. Como consecuencia, pueden disminuir los rendimientos del cultivo de renta siguiente o incrementar los costos, ya que será necesario aumentar el uso de fertilizantes nitrogenados.

Cuadro 3. Control de malezas			
Rasgos deseados de las especies	Alta tasa de crecimiento y captura de los recursos.	Rastrojo de baja descomposición.	Alelopatía
Sugerencias de manejo	Gramíneas y mezclas Siembras tempranas de los cultivos de servicios <i>a voleo</i> sobre el cultivo de renta.	No es necesario alargar el ciclo hasta la siembra del cultivo de renta siguiente; la biomasa generada por los cultivos de servicios logra controlar malezas por interferencia.	
Potenciales riesgos o compromisos	Disminuir las reservas de agua del suelo para el cultivo de renta. Inmovilización de nitrógeno (con barbechos cortos).	Inmovilización del nitrógeno.	

Control de la erosión

Tal como ocurre con las malezas, para controlar la erosión también es necesario sembrar cultivos que presenten una alta tasa de crecimiento y aporten rastrojos de lenta descomposición. Por lo tanto, como se mencionó anteriormente en este capítulo, estos servicios se encuentran correlacionados. La erosión es uno de los procesos más importantes de la degradación del suelo porque reduce su espesor, provoca la pérdida de materia orgánica, degrada su estructura física y disminuye la capacidad de retención del agua. En este caso, es necesario garantizar la presencia de cobertura en los momentos de mayor riesgo.

Los cultivos de servicios permiten reducir la erosión hídrica porque la cobertura que generan impide el impacto directo de la gota de lluvia sobre el suelo, frenando la destrucción de los agregados y reduciendo la velocidad de escurrimiento superficial. Además, como la cobertura vegetal queda *anclada*

al suelo por medio de las raíces, reduce el transporte de sedimentos que se puede producir por erosión hídrica o eólica.

Para maximizar este servicio se recomienda la siembra temprana de gramíneas, que permite contar con un efecto residual luego de la interrupción del cultivo de servicios, con los beneficios y compromisos asociados.

Cuadro 4. Control de la erosión		
Rasgos deseados de las especies	Alta tasa de crecimiento para generar cobertura en forma temprana.	Rastrojo de baja descomposición.
Sugerencias de manejo	Gramíneas y mezclas. Siembras tempranas de los cultivos de servicios a voleo sobre el cultivo de renta.	Es necesario garantizar cobertura en los momentos de mayor riesgo de erosión.
Potenciales riesgos o compromisos		Inmovilización del nitrógeno.

Reposición del nitrógeno cosechado

Para reponer el nitrógeno cosechado con los cultivos de renta es necesario sembrar leguminosas que permitan incorporar al suelo el nitrógeno del aire por medio de la fijación biológica. Tal como se detalló anteriormente, las leguminosas aportan residuos de rápida descomposición que favorecen el crecimiento y el reciclado de microorganismos, que luego darán origen a la fracción de materia orgánica asociada a los minerales. Dado que esta fracción es la principal fuente de nitrógeno para los cultivos, su aumento provee dos grandes beneficios: a escala local, reduce la dosis de fertilizante nitrogenado que puede requerir el cultivo de renta siguiente (maíz, girasol, sorgo). A escala regional y global, disminuyen las pérdidas asociadas a la fertilización nitrogenada (lixiviación y emisión de óxido nitroso) porque el nitrógeno de la materia orgánica es liberado gradualmente, mientras que los fertilizantes producen un pulso de liberación luego de su aplicación.

Para maximizar este servicio es necesario garantizar una buena implantación e inoculación de las leguminosas a fin de acumular biomasa y contar con altos porcentajes de fijación biológica de nitrógeno. Para lograrlo, puede ser necesario que las leguminosas se siembren en línea luego de la cosecha del cultivo de renta, ya que las siembras *a voleo* de algunas especies son poco consistentes, sobre todo cuando requieren un íntimo contacto con el suelo para lograr una buena implantación. A su vez, cuando no exista historia previa de la especie en el lote es fundamental contar con una buena inoculación, incluso si se duplica la dosis recomendada.

Por otra parte, la cantidad de nitrógeno fijado biológicamente por las leguminosas también depende de la biomasa acumulada. Las especies que permitan una siembra temprana podrán acumular biomasa rápidamente y ser interrumpidas en forma anticipada, dando lugar a períodos de barbechos breves previos al cultivo siguiente. De este modo, se reduce el riesgo de disminuir las reservas de agua, aunque podría verse favorecido el crecimiento de malezas tardías o posibles pérdidas de nitrógeno (lixiviación o emisiones de óxido nitroso).

Dado que la liberación de nitrógeno durante la descomposición de las leguminosas es muy rápida (bajo ciertas condiciones ambientales se puede liberar cerca del 80% en sólo un mes), esto podría ocurrir durante el barbecho sin ser absorbido por el cultivo de renta siguiente. Por ello, la sincronización de la oferta y la demanda del nutriente es un aspecto central en el manejo de los cultivos de servicio.

Por otro lado, aquellas especies de leguminosas que deban sembrarse en línea comenzarán su ciclo más tarde y será necesario extenderlo para lograr una buena acumulación de biomasa, lo que genera un compromiso de las reservas hídricas.

Cuadro 5. Reposición del nitrógeno cosechado		
Rasgos deseados de las especies	Fijación biológica de nitrógeno.	
Sugerencias de manejo	Leguminosas Garantizar una buena implantación e inoculación para acumular biomasa y contar con altos porcentajes de fijación.	Terminación tarde para lograr mayor fijación.
Potenciales riesgos o compromisos	Aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero (óxido nitroso).	Disminuir las reservas de agua del suelo para el cultivo de renta. Pérdidas de nitrógeno a las napas.

Enemigos naturales

Para aumentar la biodiversidad y favorecer la abundancia de enemigos naturales es necesario contar con una gran diversidad de plantas que les provean refugio y alimentos. Esto determina que para maximizar la provisión de este servicio sea recomendable contar con corredores biológicos que presenten una elevada conexión con el área destinada a la agricultura.

Diversos trabajos muestran que los corredores biológicos o “elementos lineales en el paisaje”, como los bordes de caminos o alambrados, pueden contener vegetación perenne que provea estos servicios. Su maximización conlleva, sin embargo, el compromiso de la pérdida de un área destinada a la producción, aunque también pueden utilizarse áreas marginales.

Los corredores biológicos o áreas de refugio de biodiversidad pueden ser complementados con la siembra de una mezcla muy diversa de cultivos de servicios en los períodos de barbecho, disminuyendo el compromiso de la pérdida del área productiva.

Cuadro 6. Abundancia de enemigos naturales

Rasgos deseados de las especies	Alta producción de flores, refugio y alimento para enemigos naturales.	Presencia reducida de plagas potenciales para el cultivo siguiente.
Sugerencias de manejo	Creación de corredores biológicos que presenten alta biodiversidad y conexión con el área destinada a la agricultura.	Mezcla de varias especies y ciclos. Priorizar especies de grupos funcionales distintas a los cultivos de renta siguientes.
Potenciales riesgos o compromisos	Pérdida del área destinada a la producción.	

Manejo de excesos hídricos

A diferencia de lo mencionado anteriormente respecto de la necesidad de contar con una buena reserva de agua para el cultivo siguiente, en algunas zonas puede ocurrir que el servicio ecosistémico buscado consista en manejar los excesos hídricos.

Por lo general, los servicios ecosistémicos favorecen un aumento de la producción o una reducción en el uso de insumos. Este servicio produce beneficios a escala regional, al disminuir el riesgo de inundaciones. Al mismo tiempo, redundando en un beneficio para el productor, ya que el ascenso de las napas en algunas zonas podría provocar la salinización de los suelos y la pérdida de muchos de los servicios que éste brinda. Para maximizarlos es necesario garantizar cobertura en los momentos de mayor probabilidad de excesos hídricos y elegir cultivos de raíces profundas. A su vez, es recomendable sembrar gramíneas que se caractericen por un elevado consumo de agua, ya sea por la duración de su ciclo, por la biomasa que generan o por la baja eficien-

Cuadro 7. Manejo de excesos hídricos

Rasgos deseados de las especies	Alta absorción de agua y baja eficiencia en el uso del agua.	Raíces profundas.
Sugerencias de manejo	Gramíneas o mezclas.	Tener cultivos vivos en momentos de mayor probabilidad de excesos hídricos.
Potenciales riesgos o compromisos	Inmovilización del nitrógeno.	

cia en el uso de este recurso. Como se mencionó anteriormente, el principal compromiso que presenta la siembra de gramíneas está relacionado con la inmovilización del nitrógeno.

Disminución de las emisiones de óxido nitroso o GEI

Finalmente, puede suceder que el servicio que se quiera priorizar tenga un impacto global, tal como ocurre en el caso de la disminución de las emisiones de óxido nitroso, un gas de efecto invernadero. Estas suelen ser elevadas en los agroecosistemas, por lo tanto, contribuyen con el cambio climático. Para proveer el servicio de su mitigación se debe priorizar la sincronización entre la disponibilidad de nitrógeno del suelo y la demanda de los cultivos. Para ello es recomendable sembrar gramíneas que capturen rápidamente los recursos y aporten rastrojos de lenta descomposición. Por otro lado, la siembra de leguminosas permite aumentar la materia orgánica del suelo y reducir las emisiones asociadas al uso de fertilizantes nitrogenados. Es por ello que para maximizar la provisión de este servicio resultan muy útiles las mezclas de gramíneas y leguminosas.

Finalmente, extender la duración de su ciclo mediante siembras tempranas e interrupciones tardías es crucial para la sincronización, pero presenta compromisos con la disponibilidad de agua y el riesgo de transmitir plagas y enfermedades al cultivo siguiente, tal como se detalló previamente al mencionar el servicio de formación de materia orgánica.

Cuadro 8. Disminución de emisiones de óxido nitroso o GEI		
Rasgos deseados de las especies	Rápida captura de los recursos y lenta descomposición.	Fijación biológica de nitrógeno.
Sugerencias de manejo	Mezcla de gramíneas y leguminosas.	Se debe priorizar la sincronización entre la disponibilidad de nitrógeno del suelo y la demanda de los cultivos y reducir el uso de fertilizantes nitrogenados.
Potenciales riesgos o compromisos	Transmitir plagas y enfermedades del cultivo de servicio al de renta (cuando son especies emparentadas).	Disminuir las reservas de agua del suelo para el cultivo de renta.

Bibliografía

Álvarez, C.R. *Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: caracterización, génesis y manejo*. IAH 10, 2–9. 2013.

Banwart, S.A., Black, H., Cai, Z.C., Gicheru, P.T., Joosten, H., Victoria, R.L., Milne, E., Noellemeyer, E., Pascual, U. "The Global Challenge for Soil Carbon". *Soil Carbon Sci. Manag. Policy Mult. Benefits* 71, 1–9. 2015. <https://doi.org/10.1079/9781780645322.0001>

Bardgett, R.D., Gibson, D.J. "Plant ecological solutions to global food security". *J. Ecol.* 105, 859–864. 2017. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12812>

Baumhardt, R., Jones, O. "Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas". *Soil Tillage Res.* 68, 71–82. 2002.

Bertolotto, M., Marzetti, M. "Manejo de malezas problema". *Cultivos de cobertura*, Aapresid. 2017.

Caviglia, O.P., Andrade, F.H. "Sustainable Intensification of Agriculture in the Argentinean Pampas : Capture and Use Efficiency of Environmental Resources". *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2010.

Chen, G., Weil, R.R. "Penetration of cover crop roots through compacted soils". *Plant Soil* 331, 31–43. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0223-7>. 2010.

Clark, L. J., Whalley, W.R., Barraclough, P.B. "How do roots penetrate strong soil?" *Plant Soil* 255, 93–104. <https://doi.org/10.1023/A:1026140122848>. 2003.

Enrico, J. M., Piccinetti, C.F., Barraco, M.R., Agosti, M.B., Ecclesia, R.P., Salvaggiotti, F. "Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: Response to inoculation and residual effect on maize in the Pampean region". *Eur. J. Agron.* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126016>

Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., Metay, A. "Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review". *Agric. Ecosyst. Environ.* 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.030>

Isbell, F., Adler, P.R., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K., Kremen, C., Letourneau, D.K., Liebman, M., Polley, H.W., Quijas, S., Scherer-Lorenzen, M.

"Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems". *J. Ecol.* 105, 871–879. 2017. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>

Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., Chauhan, B.S. "Allelopathy for weed control in agricultural systems". *Crop Prot.* 72, 57–65. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>

Jackson, R.B., Lajtha, K., Crow, S.E., Hugelius, G., Kramer, M.G., Piñeiro, G. "The Ecology of Soil Carbon : Pools , Vulnerabilities, and Biotic and Abiotic Controls". *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 48, 419–445. 2017. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234>

Jilling, A., Keiluweit, M., Contosta, A.R., Frey, S., Schimel, J., Schnecker, J., Smith, R.G., Tiemann, L., Grandy, A.S. "Minerals in the rhizosphere: overlooked mediators of soil nitrogen availability to plants and microbes". *Biogeochemistry*. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0459-5>

Lavallee, J.M., Soong, J.L., Cotrufo, M.F. "Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral associated forms to address global change in the 21 st century". *Glob. Chang. Biol.* 1–13. 2019. <https://doi.org/10.1111/gcb.14859>

Molina, G.A.R., Poggio, S.L., Ghera, C.M. "Structural complexity of arthropod guilds is affected by the agricultural landscape heterogeneity generated by fencerows". *Ann. Appl. Biol.* 2016. <https://doi.org/10.1111/aab.12253>

Molina, G.A.R., Poggio, S.L., Ghera, C.M. "Epigeal arthropod communities in intensively farmed landscapes: Effects of land use mosaics, neighbourhood heterogeneity, and field position". *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.013>

Piñeiro, G., Pinto, P., Arana, S., Sawchik, J., Díaz, J.I., Gutiérrez, F., Zarza, R. "Cultivos de servicio: integrando la ecología con la producción agrícola". En: *XXVI Reunión Argentina de Ecología*. Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. 2014.

Quiroga, A., Funaro, D.O., Fernandez, R., Noellemeyer, J. "Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana". *Cienc. del suelo* 23, 79–86. 2005.

Schipanski, M.E., Barbercheck, M., Douglas, M.R., Finney, D.M., Haider, K., Kaye, J.P., Kemanian, A.R., Mortensen, D.A., Ryan, M.R., Tooker, J., White, C.

"A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems". *Agric. Syst.* 125, 12–22. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2013.11.004>.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K. "A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics". *Soil Tillage Res.* 79, 7–31. 2004. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>

Vila-aiub, M.M., Neve, P., Powles, S.B. "Fitness costs associated with evolved herbicide resistance alleles in plants". *New Phytol.* 184, 751–767. 2009.

Villamil, M.B., Bollero, G.A., Darmody, R.G., Simmons, F.W., Bullock, D.G. *No Till Corn/Soybean Systems Including Winter Cover Crops: Effects on Soil Properties 1936–1944.* , 2006. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0350>

7

Manejo y beneficios ecofinancieros de los cultivos de servicios



Ing. Agr. Sandro Raspo

Suelos y Sistemas.



Ings. Agrs. Pedro Telechea y Martín Luzzi

Consultora Oeste, Selectividad de herbicidas.



El surgimiento de la biotecnología ocurrido a fines de los años 90 llegó para potenciar el área agrícola, que, entonces, comenzó a competir notablemente con las pasturas para ganar mayor superficie.

Por su sistema radical más profundo y por el hecho de poseer raíces vivas durante todo el año, las pasturas predominantes en sistemas mixtos efectúan una regulación del bioecosistema mucho más importante que la que realizan los cultivos anuales de renta, tanto por su aporte de carbono como por la regulación de la napa freática y, en términos generales, por la protección del suelo.

En el intento de mitigar el impacto ambiental de la agricultura es que empezamos a utilizar cultivos intermedios entre dos cultivos de renta, a los cuales hemos denominado *cultivos de cobertura*, ya que surgieron en la provincia de La Pampa, donde cumplían la función de proteger el suelo contra la erosión eólica y evitar la evaporación del agua. Este trabajo resume nuestra experiencia en el manejo de estos sistemas.

Especies utilizadas

Las especies usadas como cultivos de cobertura pueden dividirse en tres grandes grupos: gramíneas invernales, leguminosas y *Brassicaceas*.

Gramíneas invernales

Este grupo se destaca por su capacidad para fijar carbono, tanto en lo que respecta a la parte aérea como a las raíces: las gramíneas alcanzan producciones de biomasa aérea que van desde 4,5 hasta 9 toneladas por hectárea, y 5 a 6,5 t/ha de raíces. El 40% del carbono aportado por las raíces pasa directamente al cultivo siguiente.

Avena: esta especie tiene buen comportamiento en el control de malezas y buenas prestaciones si se le quiere dar uso ganadero. Rebrotan con el rolado.

Centeno: es la gramínea más utilizada como cultivo de cobertura. Cuenta con dos grandes grupos (i) centenos diploides de ciclos cortos con un peso de 1000 semillas del orden de 15 a 20 gramos (Don Edwal y Queuhe), y (ii) ciclos largos tetraploides con peso de 1000 semillas de 25 a 28 gramos (Don Enrique y Don Guillermo).

Triticale: se trata de una especie que produce abundante materia seca, con buen comportamiento ante frío y sequía. Es ideal para formar cobertura rápidamente debido a su elevada relación C:N y a su degradación lenta.

Avena strigosa: cada año tiene mayor participación en la rotación. La calidad de su rastrojo es muy buena, y presenta un comportamiento satisfactorio frente al rolado. En inviernos fríos es de crecimiento más lento que el centeno y el triticale.

Avena strigosa: cada año tiene mayor participación en la rotación. La calidad de su rastrojo es muy buena, y presenta un comportamiento satisfactorio frente al rolado. En inviernos fríos es de crecimiento más lento que el centeno y el triticale.

Cebada: es usada en mezclas para colonizar espacios con problemas incipientes de salinización.

Leguminosas

La importancia de estas especies radica en la fijación simbiótica de nitrógeno que logran cuando se las inocula. El inoculante es un insumo que debe acompañar siempre a las leguminosas de invierno en un cultivo de cobertura. Dentro de este grupo se encuentran las siguientes especies:

Vicia villosa: es excelente su comportamiento como cultivo de cobertura: tolera bajas temperaturas y logra buenas producciones de materia seca, que van desde 3,5 a 7 t/ha. Controla muy bien a las malezas y produce una gran fijación de nitrógeno, la cual puede ser utilizada en parte por el cultivo de renta siguiente y en parte permanece en el suelo enriqueciendo al sistema que, por la falta de cultivos perennes con leguminosas, está ávido de este nutriente.

Vicia sativa: se trata de una especie interesante con menor tolerancia al frío que *Vicia villosa*. Su producción de materia seca es menor y el control de malezas menos eficiente, sin embargo, en planteos donde se desarrolla ganadería tiene la ventaja de que no intoxica a la hacienda como lo hace *Vicia villosa* en siembras puras.

Trébol anual, trébol encarnado, trébol de Alejandría, trébol persa y trébol subterráneo: son especies que complementan muy bien a *Vicia villosa* en las mezclas multiespecies, fundamentalmente por su aporte a la diversidad de exudados radicales, potenciando el sistema.

Brassicaceas

En la última década, las especies de este género comenzaron a utilizarse como cultivos de cobertura, ya que poseen dos características distintivas: actúan como descompactadores biológicos y florecen a fines del invierno-principios de la primavera, de modo que son visitadas por muchos insectos benéficos. Las especies más utilizadas son básicamente dos:

Brassica campestris cv Hunter: especie de pastoreo, con buen comportamiento al frío.

Tillage Radish (*Raphanus sativus*): adaptada exclusivamente para su utilización como cultivo de cobertura, con puntos

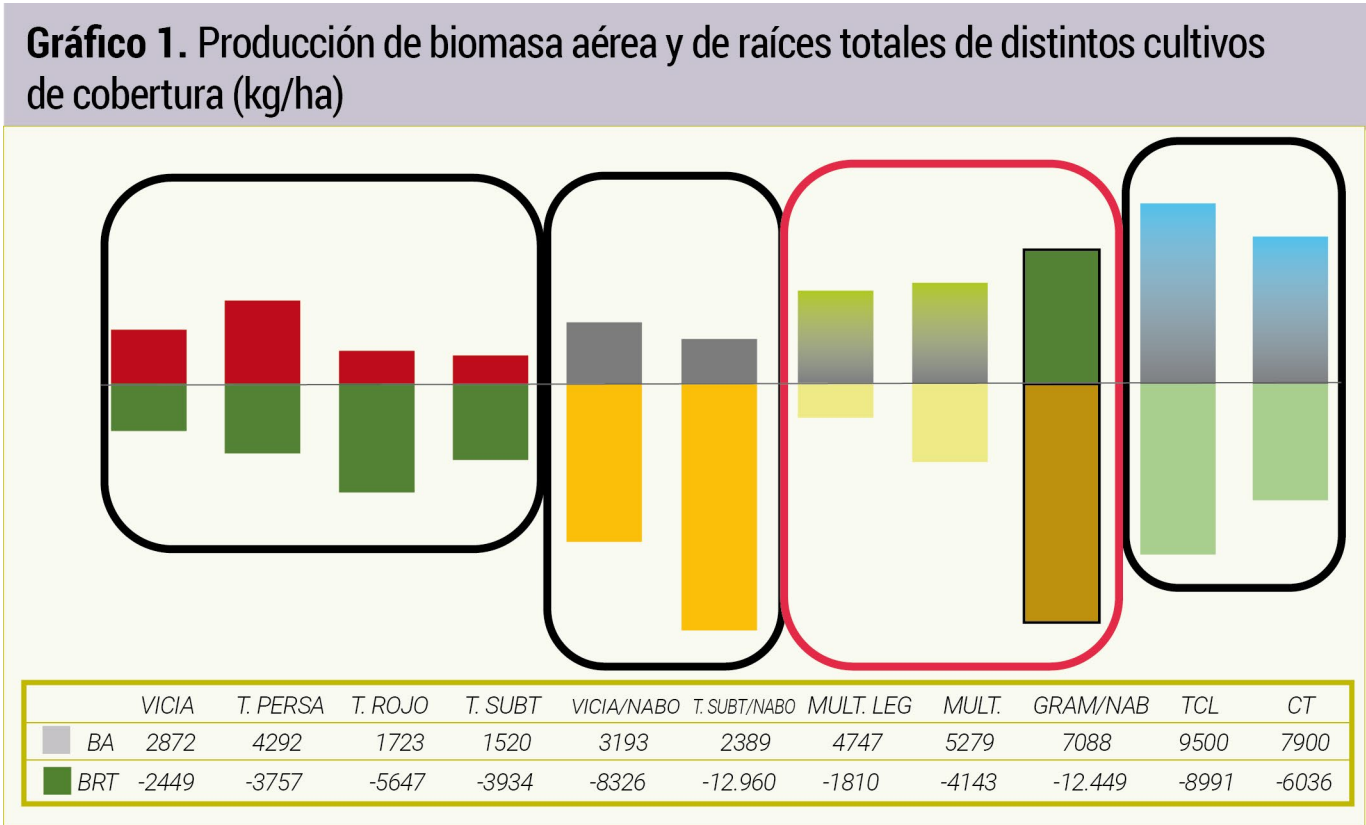
de crecimiento por encima del suelo. De este modo, es más sencillo eliminarla del sistema con métodos de finalización mecánicos.

Pasturas multiespecies

Representan un salto cualitativo dentro de los cultivos de cobertura, ya que la utilización de diversas especies en mezclas permite romper estructuras laminares, cubrir el suelo, fijar carbono y nitrógeno e incrementar la diversidad.

Un aspecto a destacar es el aumento de la infiltración que permite la inclusión de *Brassicaceas* en las mezclas. Así, se observan datos de infiltración de testigos sin cultivos de cobertura de 41 milímetros por hora, contra cultivos de cobertura de gramíneas y centeno de 62 mm/h, y cultivos de cobertura multiespecies de 112 mm/h (gráfico 1).

Estos datos fueron obtenidos a partir de estudios realizados por INTA Anguil en el marco del Programa Nacional de Agua dentro del establecimiento Don Mateo, ubicado en el partido de Florentino Ameghino. La medición de biomasa radical



Fuente: Suelos y Sistemas.

se realizó por el método de Bolinder. Este estudio resulta de gran utilidad para tomar decisiones respecto de las especies o mezclas por utilizar dentro de un sistema de producción.

Métodos de siembra

Los cultivos de cobertura se implantan de dos maneras: siembra en líneas tradicional después de la siega de los cultivos de renta o a voleo.

Siembras en líneas

Esta alternativa tiene como principal ventaja la eficiencia de implantación. Es necesario prestar especial atención a la logística de esta operación, que se debe realizar inmediatamente después de cosechar el cultivo de renta, aplicando rápidamente los herbicidas preemergentes ya que entre el período de senescencia del cultivo y su cosecha se produce el nacimiento de malezas.

La maleza principal es *Conyza sp.* debido a que no hay residualidad de los herbicidas y que al finalizar su ciclo el cultivo pierde la habilidad de competir. Es por ello que a lo largo de tres años se han realizado conjuntamente con desarrollistas privados, distintos ensayos orientados a determinar las opciones de herbicidas más convenientes para cada cultivo de cobertura (ver “Selectividad de herbicidas” y “Carry over”).

Siembras a voleo

Desde el año 2005, los cultivos de cobertura se siembran en forma aérea sobre maíces de primera, lo que constituye una técnica muy efectiva, ya que permite adelantar la fecha de implantación. Esta es una de las claves del éxito de los cultivos de cobertura, que de este modo alcanzan más temprano el índice de área foliar óptimo, produciendo mayor volumen de materia seca y de raíces.

Un punto a favor de las siembras *a voleo* es el impacto ecológico positivo que se obtiene sobre el control de malezas por su distribución aleatoria.

Por otra parte, las siembras aéreas logran una distribución de las semillas en forma de campana de Gauss; cuando las franjas de vuelo no son las adecuadas, suelen aparecer malezas en los extremos de dicha campana donde se registra una menor densidad. Es por eso que el peso específico del material a utilizar para la determinación de dichas franjas adquiere mucha importancia. Para solucionar el problema de la distribución, en 2016 desarrollamos la técnica de siembras presurizadas *a voleo* con kit Altina, tanto en monoespecies como en mezclas, voleando altas densidades por hectárea. De esta manera se obtuvo un mejor control de malezas que con siembras aéreas.

Algunas recomendaciones a considerar en las siembras *a voleo* son las siguientes:

- La alta humedad relativa beneficia la emergencia.
- Es necesario prever la posible ocurrencia de lluvias importantes antes o inmediatamente después de la siembra.
- Es recomendable aumentar la densidad de siembra porque los coeficientes de implantación no superan el 75%.
- Cuanto menor es el tamaño de semilla hay más probabilidades de logro.
- Si se siembran gramíneas invernales en maíz, es necesario protegerlas contra áfidos. Sobre soja no es necesario, debido a la menor temperatura debajo de la canopia. Con tréboles anuales, es necesario considerar la posible aparición de trips.
- Se debe sembrar siempre antes de la senescencia del cultivo de renta.

- No conviene mezclar el fertilizante fosforado con la semilla en la misma labor, ya que cuando el fertilizante cae al suelo cerca de la semilla afecta el pH del medio, perjudicando la germinación.
- Es necesario tener en cuenta qué herbicidas se utilizan sobre el cultivo de renta ante eventuales problemas de fitotoxicidad.

Control de malezas

Selectividad de herbicidas

Dado que la información acerca de la selectividad de los herbicidas a utilizar para el control de malezas en cultivos de cobertura es muy escasa, desde el año 2017 se vienen realizando ensayos que involucran un total de 832 franjas en microparcelas con testigo apareado (sin herbicida) en distintos sitios pertenecientes a establecimientos del noroeste de Buenos Aires, con una metodología experimental de franjas con repeticiones.

El objetivo principal de dichos experimentos fue evaluar la selectividad de cada herbicida en diversas especies utilizadas como cultivos de cobertura, en distintos momentos (pre-siembra, preemergencia y posemeregencia) y con diversas dosis de aplicación. Como objetivo secundario, se evaluó el comportamiento de los herbicidas y su residualidad teniendo como maleza objetivo *Conyza* sp., aunque también se caracterizó el comportamiento frente a otras especies de invierno como *Viola arvensis*, *Lamium amplexicaule*, *Bowlesia incana*, *Stellaria media* y otras de menor frecuencia de aparición en el noroeste de Buenos Aires.

Los suelos donde se realizaron los ensayos son los típicos de la región: Hapludoles típicos, énticos y Thaptos árgicos de

textura franco-arenosa, con valores de materia orgánica que se sitúan en el rango de 1,5 a 3% y pH 6 en los primeros 20 centímetros de profundidad.

Los herbicidas evaluados comprendieron diferentes modos de acción; entre los más comunes estaban los inhibidores de ALS (Metsulfuron metil, Clorimuron, Prosulfuron, Triasulfuron, Flumetsulam, Diclosulam, Imazetapir, Imazapir, Iodosulfuron, Thienencarbazone, Rimsulfuron y Sulfometuron); inhibidores del Fotosistema II (Atrazina, Prometrina, Amicarbazone, Terbutylazina); inhibidores Protoporphyrinogen Oxidase –PPO (Sulfentrazone, Flumioxazin, Saflufenacil, Carfentrazone); inhibidores de la biosíntesis de pigmentos (Diflufenican, Aclonifen); Auxinas sintéticas (Dicamba, Clopyralid, Fluroxypyr, Picloram, 2,4 D éster butílico); inhibidores de la Dihidropteroato sintetasa (Pendimetalin, S-Metholachloro) e inhibidores de ácidos grasos de cadena larga (Pyroxasulfone).

Respecto a la selectividad de los herbicidas en cultivos de cobertura cabe destacar que la mayoría de los productos que presentaron alta efectividad para el control de malezas en posemergencia fueron los que provocaron mayor fitotoxicidad. Su aplicación en preemergencia fue la mejor alternativa para los herbicidas evaluados, por control y fitotoxicidad.

Por último, cabe mencionar que no existen recetas de producto y dosis por aplicar, ya que la mayoría de los herbicidas disponibles no están registrados para su uso en cultivos de cobertura. Sin embargo, es de gran importancia seguir generando información respecto a la selectividad y control, según zona y especie utilizada.

Carry over

En los últimos años, la utilización de herbicidas y sus combinaciones se incrementó para afrontar la problemática de ma-

lezas presentes en los potreros, con los potenciales riesgos de fitotoxicidad o *carry over*, sobre todo en lotes o zonas de menor contenido de materia orgánica (que funcionan como *buffer*) o en años en que las condiciones ambientales pueden no ser las más adecuadas para lograr su correcta degradación.

Para identificar este riesgo potencial, durante las campañas 2017/18 y 2018/19 se desarrollaron distintos experimentos en el establecimiento Don Mateo cuyo diseño consistió en bloques aleatorizados con tres repeticiones (1068 microparcelas testeadas con testigo apareado) sobre una loma arenosa que corresponde a un suelo Hapludol éntico de 1,56% de materia orgánica y textura areno-franca (78% arena, 15% limo y 7% arcilla).

Durante el primer año de evaluación, en soja y maíz se utilizaron herbicidas preemergentes de elevada persistencia en distintos momentos y con diferentes dosis para sembrar luego de la cosecha seis especies utilizadas como cultivos de cobertura: alfalfa, trébol persa, *Vicia villosa*, nabo, avena y centeno. De este modo, fue posible evaluar eventuales efectos fitotóxicos sobre dichas especies que poseen distinto grado de tolerancia a los herbicidas aplicados en los cultivos de renta. Las precipitaciones ocurridas desde los distintos momentos de aplicación de los herbicidas hasta la siembra de los cultivos de cobertura fueron escasas. Además de las experiencias realizadas a nivel de las microparcelas experimentales, también se pudo constatar y evaluar esta problemática a nivel del lote de producción, sobre todo en sitios de menor materia orgánica o con problemas de fertilidad física y química, donde sí se observaron diferentes gradientes de fitotoxicidad en los cultivos de cobertura.

Bajo las condiciones edafo-climáticas en las cuales se realizaron los ensayos, ninguno de los herbicidas residuales provocó fitotoxicidad con pérdida de productividad, incluso en las especies más sensibles.

A nivel de potrero, la utilización de tecnología de aplicación como el corte por sección y la realización de pruebas de compatibilidad de los herbicidas a aplicar, además de un correcto orden de carga, constituirán probablemente parte del éxito de esta práctica.

Competencia por agua, luz y nutrientes

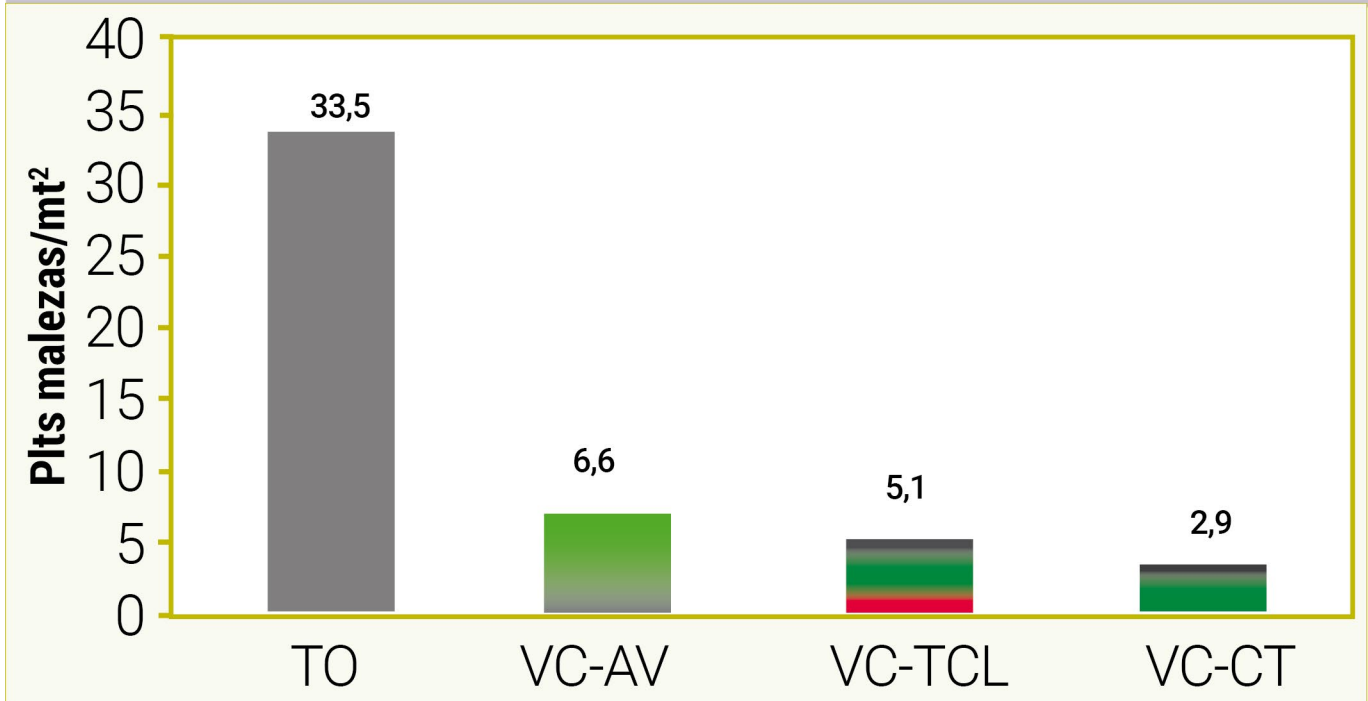
La disputa por los recursos entre el cultivo de cobertura y las malezas está asociada a la fecha de siembra y su interacción con la densidad. A medida que se adelanta la fecha de siembra, es posible reducir la densidad, por ejemplo, en gramíneas invernales a 165-170 plantas por metro cuadrado, y en *Vicia villosa* a 25/30 pl/m². Sin embargo, cuando la fecha de siembra se retrasa, una situación que es bastante habitual, la densidad debe incrementarse. Esta es una posibilidad que ha sido explorada llevando la densidad al doble; en esta situación, el control ecológico de malezas es total, por lo que es una opción a considerar en planteos agrícolas periurbanos.

Para corroborar el control por parte de los cultivos de cobertura se han realizado diversos ensayos con conteo de malezas. En el gráfico 2 se presentan los resultados de una experiencia realizada en el establecimiento El Rincón, perteneciente a la Consultora Oeste, en Roberts, provincia de Buenos Aires. El control de malezas por acción de distintas estrategias de cultivos de cobertura logró eficiencias muy similares a la de los controles químicos, que rondan entre 80 y 91%.

Competencia por la radiación

La elevada producción de biomasa aérea de los cultivos de cobertura y su finalización mediante el rolado permite formar una “alfombra biológica” que intercepta la radiación y reduce la temperatura impidiendo o retrasando la aparición de malezas en los cultivos de renta.

Gráfico 2. Densidad de malezas observadas en distintos sistemas de cultivos de cobertura (pl/m²)



Fuente: Suelos y sistemas.

De acuerdo a experiencias realizadas en forma conjunta con INTA es posible afirmar que el “crimping” de los tallos se logra tanto con un rolo tipo faca sin sus cuchillas, como con el rolo prensador Simagro (2015), el Chevron Simagro de chasis basculante (que brinda estabilidad y uniformidad en la presión de los tallos), o con rolos que incorporen determinadas reformas realizadas por los propios agricultores, siempre y cuando el peso y sus álabes cumplan con la función de prensar y no cortar el material (fotos 1, 2 y 3).

Foto 1. Rolo tipo faca sin cuchillas



Foto 2. Rolo arvejero reformado



Foto 3. Rolo Simagro Chevron



Entre las recomendaciones para el rolado de cultivos de cobertura figuran las siguientes:

- El rolo no debe cortar los tallos, sino que debe aplastarlos.
- Para que el control tenga lugar sin aplicación de herbicidas, las gramíneas deben ser roladas después del 50% de antesis.
- *Vicia villosa* debe alcanzar el 100% de la floración (aparición de primeras vainas) para que ocurra el control sin aplicación de herbicidas; de lo contrario, hay que realizar el rolado y aplicar herbicida inmediatamente después para su secado.

- Si el cultivo de cobertura consiste en gramíneas puras sembradas en líneas, se deben rolar a 90 grados respecto del modo en que fueron sembradas. Los cultivos posteriores se sembrarán en la misma dirección del rolado. En ningún caso, corresponde cortar la alfombra biológica formada por los tallos de las gramíneas.

Siembra sobre coberturas verdes

En 2016 se implementó este sistema de siembra buscando mantener el suelo en actividad y con raíces vivas todo el año, al modo de las praderas pastoriles donde la aparición de malezas es muy baja o nula. De este modo, se consume el agua de las lluvias otoñales, se capturan los nutrientes que se escapan del sistema en períodos del año en que ninguna raíz los atrapa, se entranpan los rastrojos para que no sean arrastrados por las lluvias convectivas de principios de primavera, se recircula el carbono existente en los rastrojos con el aporte de nitrógeno efectuado por las leguminosas de invierno y se reduce la carga de herbicidas para el control de malezas resistentes, tanto dicotiledóneas como monocotiledóneas.

En maíz de primera se usaron cultivos de cobertura con base principal en *Vicia villosa* o mezcla de leguminosas de invierno. Estos cultivos llegan a rendir entre 3,5 y 4,5 toneladas por hectárea de materia seca, suficientes para el control de malezas.

En la campaña 2019/20, al sembrar el maíz sobre cubierta verde, a pesar de haber obtenido un 9% menos de rendimiento el uso de fertilizante nitrogenado se redujo en un 45%, con un impacto ambiental de 71%, un gasto directo por hectárea de 23% y un gasto directo por tonelada de 16% (cuadro 1).

Cuadro 1. Indicadores ecofinancieros de dos sistemas de manejo de maíz

	Cobertura verde /maíz de primera	Rastrojo de soja de segunda/maíz de primera
Napa	80 cm	70 cm
Nitrógeno total suelo + fertilizante (kg/ha)	124 + 56	78 + 102
Principio activo (g/ha)	435	5570
Coeficiente de impacto ambiental EIQ	19	66
Rendimiento	7,79	8,51
Gastos directos/ha	448	585
Gastos directos/t	57	68

En soja de primera se usan cultivos de cobertura de gramíneas de invierno, centeno y Avena strigosa, con producciones de materia seca que van desde 5,6 a 8,5 t/ha.

El diseño y la estructura del cultivo de cobertura por utilizar son aspectos clave en este tipo de siembra. Es recomendable adelantar la fecha de implantación para cortar el consumo de agua del cultivo de cobertura, y tener un período de 50 días sin demanda para recargar el perfil.

Si la cobertura por acumulación de rastrojos es muy importante será necesario realizar adaptaciones, tanto en las cuchillas labradoras (utilizando aquellas que tienen menos ondas), como en los discos plantadores colocando discos aserrados (ver foto 4). Estos aseguran una buena limpieza en el fondo del surco y evitan el efecto de “fratachado” cuando la humedad del suelo es elevada.

En los casos en que la acumulación de rastrojo es elevada, primero se siembra y después se rola el cultivo de cobertura para darle finalización en los casos en que se quiere reducir la carga de herbicida; de lo contrario, se lo finaliza en forma química. Si, en cambio, la cobertura es escasa, por ejemplo, en el caso de lotes que tuvieron antecesor maní, será necesario rolar y sembrar inmediatamente para evitar la incidencia de los rayos del sol en el suelo, ya que se trata de estructuras gruesas con elevado porcentaje de arena, muy susceptibles a

la desecación por evaporación. La siembra sobre coberturas verdes es muy importante desde el punto de vista de cuidado ambiental.

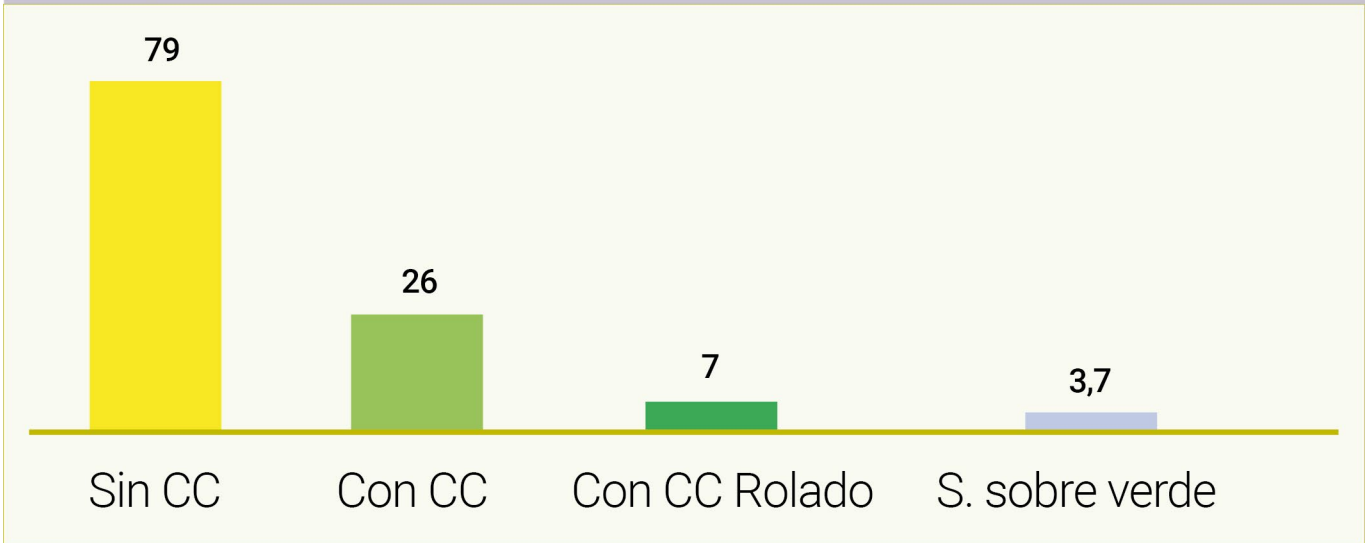
Foto 4. Discos plantadores con discos aserrados



Un indicador muy utilizado para conocer el impacto ambiental de una actividad como la agricultura es el Coeficiente de Ecotoxicidad (EIQ) desarrollado en la Universidad de Cornell, EE.UU. por Kovach *et al.*, 1992. Estudios realizados demuestran que cuando su valor se encuentra por debajo de 5, no se produce impacto ambiental (gráfico 3). Al utilizar este coeficiente se advirtió claramente que a medida que se incorporaban tecnología de procesos a la técnica de cultivos de cobertura aquel descendía considerablemente.

Gráfico 3. Valores de EIQ obtenidos sobre distintos sistemas

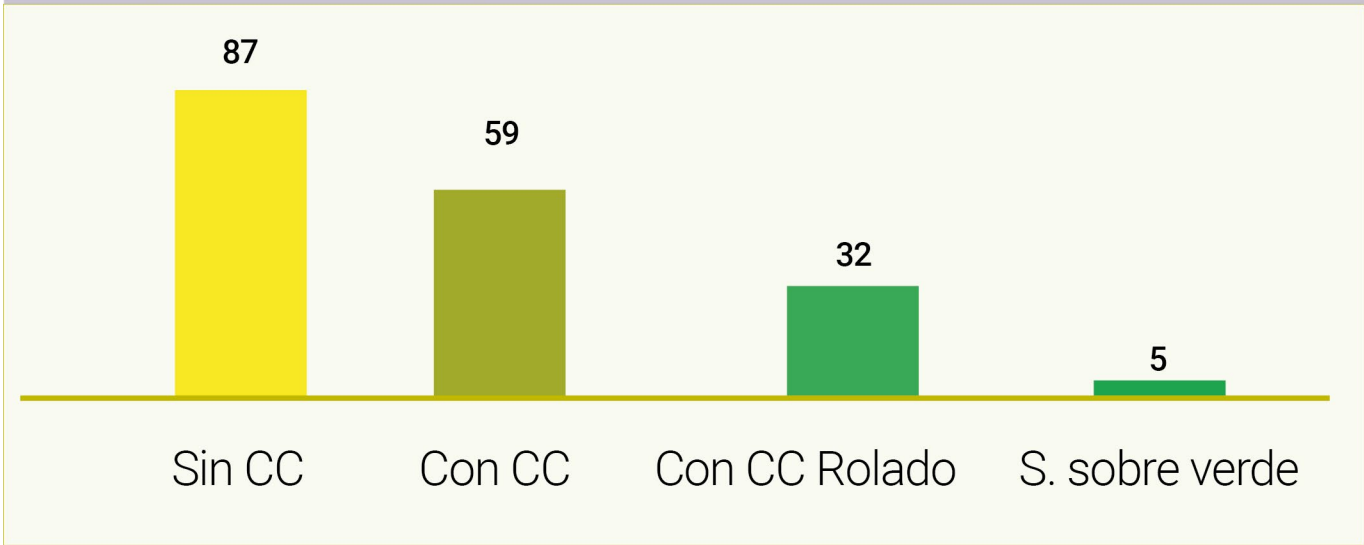
Valores promedio de tres años.



Con la aparición de la resistencia de las malezas a los herbicidas la estructura de gastos directos de los cultivos de renta se ha modificado, registrando aumentos considerables. Cuando se comparan las distintas formas de siembra que hoy se realizan dentro del sistema de producción, se advierte que la intensificación de la técnica del cultivo de cobertura produce un marcado descenso en el uso de estos productos y, por ende, de los gastos directos (gráfico 4). A su vez, los rendimientos entre las distintas formas de siembra no presentan diferencias significativas (gráfico 5).

Gráfico 4. Costo de herbicidas en distintos sistemas (U\$S/ha)

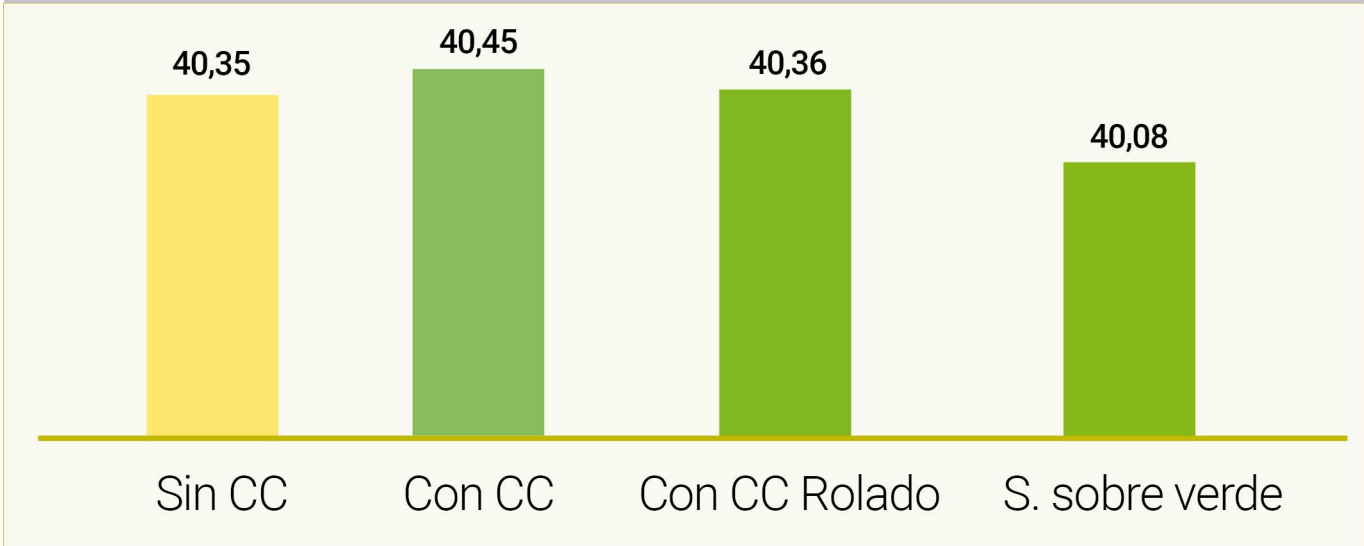
Valores promedio de tres campañas.



Fuente: Suelos y sistemas.

Gráfico 5. Rendimiento de cultivos en distintos sistemas de manejo (qq/ha)

Valores promedio de tres años.



Fuente: Suelos y sistemas.

Los cultivos de cobertura en el sistema

El sistema basado en el uso de cultivos de cobertura involucra distintas formas de implantación de los cultivos de renta que difieren en la forma de terminación del cultivo de cobertura: secado químico, rolado y siembra sobre coberturas verdes. Luego, hay una cuarta alternativa que consiste en implantar el cultivo de cobertura sobre un barbecho convencional, que tuvo un cultivo de cobertura o un cultivo de renta de gramínea de invierno en la rotación. Esto brindaría un conjunto de herramientas que, asociadas a las rotaciones y a la reposición de nutrientes, potenciarían el sistema productivo, brindando perdurabilidad y un buen equilibrio ecosistémico.

Cuando se combinan las tecnologías de procesos mencionadas en cuatro cuartos, y se compara esta secuencia con las explotaciones 50% maíz-50% soja de primera se observa una disminución del EIQ del 68% y una reducción de los gastos directos del 42%. Es por ello, que para intensificar el sistema y potenciar el suelo con más vida, se decidió sembrar maíz de primera en surcos apareados y escalonados (*Twin row*), voleando en el estado de V8 un cultivo de cobertura multiespecie con predominancia de especies de verano para mantener raíces vivas todo el año, capturar nutrientes liberados por la senescencia del maíz, disputar recursos con las malezas sobre el final del ciclo del cultivo de renta y rotar herbicidas distintos de los que utiliza el común de los productores.

En el maíz de primera los espacios son colonizados por especies como mijo, moha, girasol, *Aeschynomene*, *Vicia villosa*, crucíferas, trébol encarnado, trébol persa, trébol de Alejandría, trigo sarraceno, poroto mung y Caupi. Como resultado, se produce una diversidad de exudados radicales y la incorporación de *Rhizobium* de distintas especies fijadoras de nitrógeno. Esto es muy importante para la regulación del ambiente,

porque permite capturar nutrientes a distintas profundidades y contar con una producción de flores prácticamente todo el año, lo que atrae una buena cantidad de insectos benéficos al sistema, reduciendo las aplicaciones contra insectos plaga.

Biointegración sistémica

En el marco de sistemas de producción agrícola-ganaderos, los cultivos de cobertura, especialmente aquellos basados en gramíneas de invierno, aportan raciones a la hacienda en un momento del año en que por lo general se produce un déficit en el balance forrajero.

Sobre la base de la experiencia adquirida, denominamos *coberturas pastoreables* a aquellos cultivos de cobertura que tienen un destino de pastoreo. Estos se caracterizan por su mayor densidad, que va desde 270 plantas por metro cuadrado hasta 320 en el caso de gramíneas invernales que son fertilizadas con 60-70 kg/ha de nitrógeno. Se diferencian de otros cultivos de cobertura en los que se logran entre 165 y 170 pl/m² y que muy pocas veces son fertilizados.

Desde la campaña 2011/12, se midió el rendimiento de cultivos de soja de primera con cultivos de cobertura sin pastorear *versus* soja de primera con cultivos de cobertura pastoreados. Estas últimas obtuvieron un ingreso neto promedio extra por hectárea de 85,83 U\$S al contabilizar la producción de carne respecto de las sojas cuyo antecesor fue un cultivo de cobertura sin pastorear.

Cabe señalar que, si el objetivo principal consiste en aportar carbono al suelo y recircular nutrientes, los cultivos de cobertura no deberían ser pastoreados. La repetición del pastoreo produce una detención del sistema radical, tal como lo demuestran trabajos realizados por Christine Jones en Australia, y Jim Gerrish en la Universidad de Missouri, EE.UU.

El presente artículo busca estimular al lector para que reflexione acerca de estas nuevas técnicas y su posible adaptación a los sistemas de producción locales. Una buena medida consistiría en afectar con estas técnicas no más del 15% de la superficie, para luego ajustarlas, validarlas y después adoptarlas a gran escala.

Gestión ambiental

Los cultivos de cobertura desempeñan un rol primordial en los sistemas productivos, no sólo porque sostienen el nivel de producción, sino también porque permiten optimizar la competitividad de las empresas, ya que al reducir el impacto ambiental es posible dar respuestas claras y concretas a las demandas que la sociedad le dirige a la agricultura, permitiendo entre otras cosas, explotar mayor superficie periurbana.

Agradecimientos: A Suelos y Sistemas, iniciativa de integración público-privada conformada por tres estaciones experimentales de INTA: Anguil, General Villegas y Marcos Juárez.

Bibliografía

Christie L. Stewart, Robert E. Nurse, Laura L. Van Eerd, Richard J. Vyn. "Weed Control, Environmental Impact, and Economics of Weed Management Strategies in Glyphosate-Resistant Soybean". *Weed Technology* Vol. 25 (4): 535-541. 2011).

Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., Tette, J. "A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York Food and Life Sciences Bulletin* 192, 2-8. 1992.

8

Intensificación de rotaciones de cultivos extensivos



Dr. José F. Andrade

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires..



Las decisiones técnicas en los sistemas de producción de granos suelen orientarse a la organización y el manejo agronómico de los cultivos; es decir, a la elección del genotipo, la fecha de siembra, la densidad de plantas, la fertilización o el control de plagas, entre otras variables. Estas decisiones tienen efectos inmediatos y, por lo general, son perceptibles. El diseño del sistema de producción, en cambio, se orienta a la organización de las especies cultivadas en una secuencia que busca favorecer interacciones positivas de corto, mediano y largo plazo que apuntan a promover y sostener la productividad en una escala de análisis superior a la de los cultivos individuales.

Cada especie se diferencia de las demás en función de los recursos que necesita para desarrollarse, del momento de siembra y cosecha, de la estación de cultivo, del tipo y la cantidad de residuos y de las condiciones edáficas e hídricas que dejan detrás de sí. Estos factores interfieren en mayor o menor medida en el rendimiento de los cultivos siguientes, así como en la fertilidad de los suelos a más largo plazo, según la naturaleza de las especies que integran la rotación.

En la Argentina, la mayor proporción de la superficie cultivada es ocupada con soja, debido a que es la actividad agrícola con mayor margen económico. Es, incluso, rentable cuando se realiza en fecha tardía, detrás de un cultivo de invierno como el trigo, conformando lo que se conoce como doble cultivo. En el diseño de los sistemas de producción, la realización de dos cultivos de cosecha en un mismo año se asocia a un uso más intenso de la tierra, que incrementa la productividad, reduce la variabilidad y el riesgo, y mejora el resultado económico y el flujo de capital y de trabajo de la agricultura.

El doble cultivo trigo-soja de segunda es uno de los sistemas predominantes en la región pampeana junto con los cultivos

simples de maíz y soja. Constituyen un sistema de producción ampliamente difundido entre productores con campo propio, donde por lo general se alcanza un índice de intensificación de 1,33 cultivos por año, siguiendo una rotación típica compuesta por soja/trigo-soja de segunda/maíz (cuatro cultivos en tres años). En campo arrendado, el cultivo simple de soja gana relevancia en desmedro del maíz y del cultivo doble; por lo tanto, el índice de intensificación se reduce, oscilando, en promedio, entre 1,2 y 1,3 cultivos por año en amplias regiones de la pradera pampeana. Sin embargo, los efectos de la introducción de cultivos dobles han sido relativamente poco estudiados, así como las posibilidades de incrementar los índices de intensificación de las secuencias.

Cultivos dobles

En la mayor parte de la región pampeana, el ciclo del maíz se extiende desde mediados de septiembre hasta principios de marzo, mientras que el de soja se extiende desde fines de octubre hasta fines de marzo. En cambio, en el doble cultivo trigo-soja, el primero se desarrolla durante el invierno y la primavera, mientras que la soja crece durante el verano, ya que es sembrada inmediatamente después de cosechar el cereal. A diferencia de los cultivos estivales simples, los dobles prácticamente no interceptan radiación en los meses de mayor incidencia diaria (diciembre-enero), aunque esto se ve sobrecompensado por la mayor interceptación en el invierno, la primavera y comienzos del otoño (figura 1a). De manera similar, la cantidad de agua evapotranspirada en sistemas de cultivos dobles se incrementa notablemente comparada con los cultivos simples de verano, dado que el agua proveniente de las precipitaciones sólo puede diferirse hasta cierto punto, en función de la capacidad de almacenamiento del suelo. De este modo, el doble cultivo incrementa la productividad, principalmente mediante la captura de una mayor proporción de recursos disponibles en el ambiente (figura 1b).

Figura 1. a) Radiación incidente (línea naranja) e interceptada por un cultivo de trigo (área azul), una soja de primera (verde) y una soja de segunda (rojo) a lo largo de un año

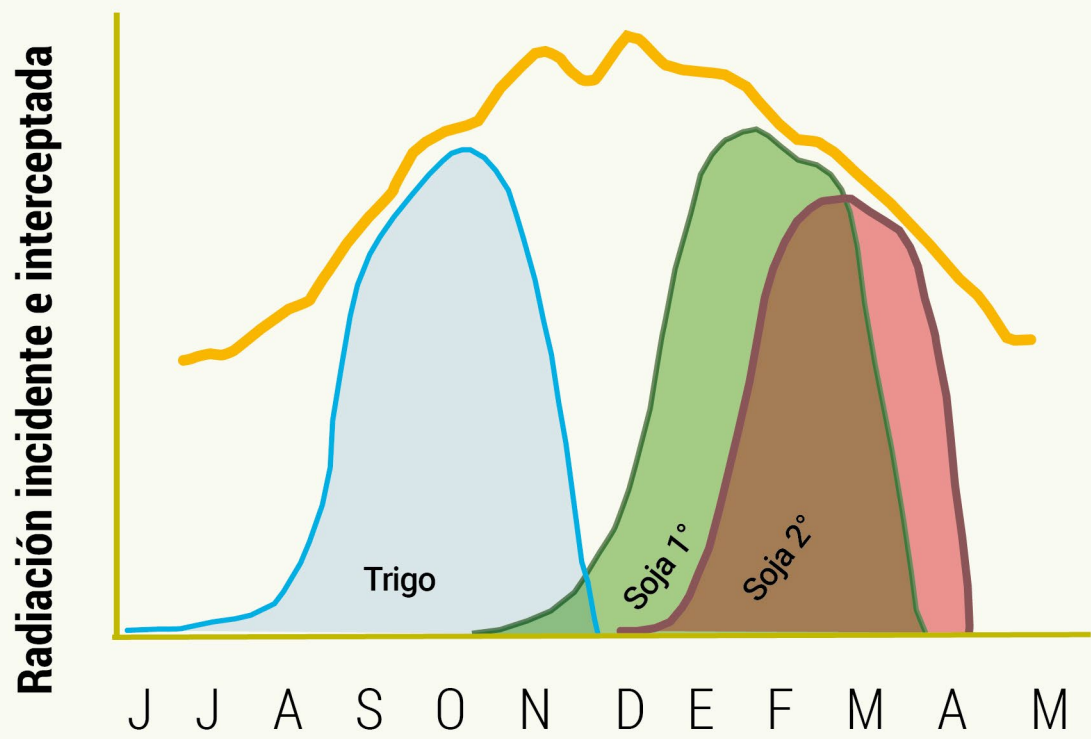
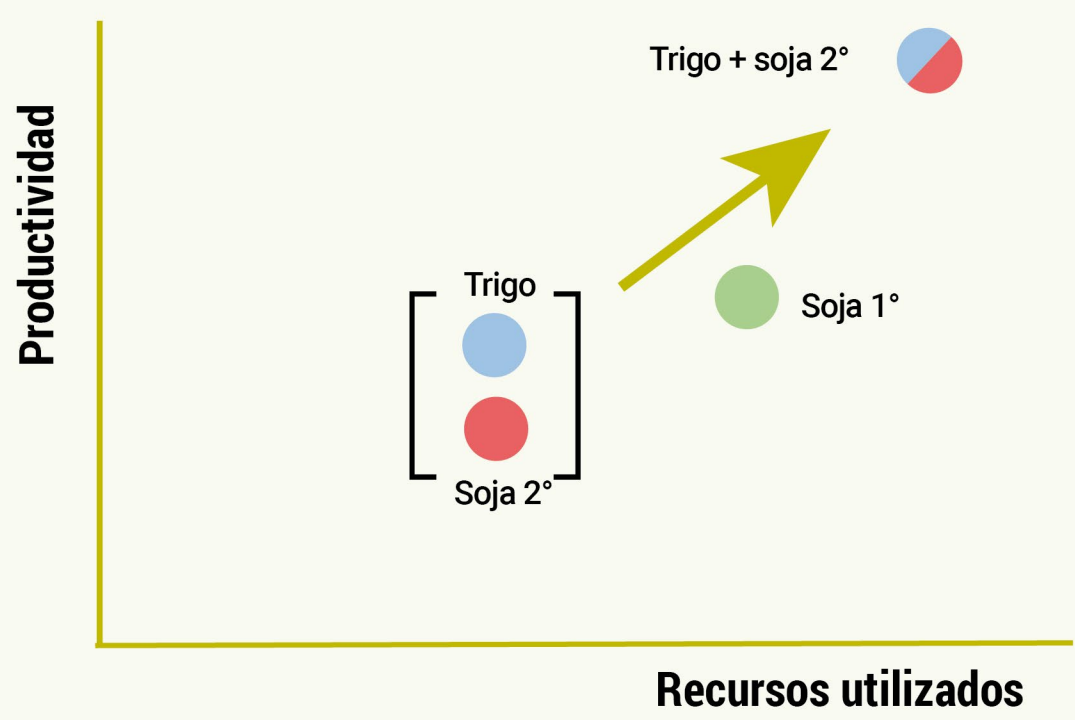


Figura 1. b) Relación entre la cantidad de recursos utilizados (agua o radiación) y la productividad de cultivos de soja de primera (verde), trigo (azul), soja de segunda (rojo) y doble cultivo trigo-soja (rojo y azul)



Fuente: adaptado de Andrade et al., 2015.

Soja de segunda

Si bien los dobles cultivos incrementan notablemente la productividad anual del sistema, por lo general esto ocurre en detrimento del rinde individual del cultivo de verano. Cuando la soja es sembrada inmediatamente después de cosechar el trigo, su rendimiento resulta sensiblemente menor que cuando se realiza como cultivo único en fecha óptima. Si bien la disminución de la productividad es consecuencia del retraso en la fecha de siembra, también puede atribuirse a la menor disponibilidad hídrica provocada por el consumo del antecesor y por la ausencia de un período de barbecho entre la cosecha del cultivo de invierno y la siembra de la soja de segunda (figuras 1c y 1d).

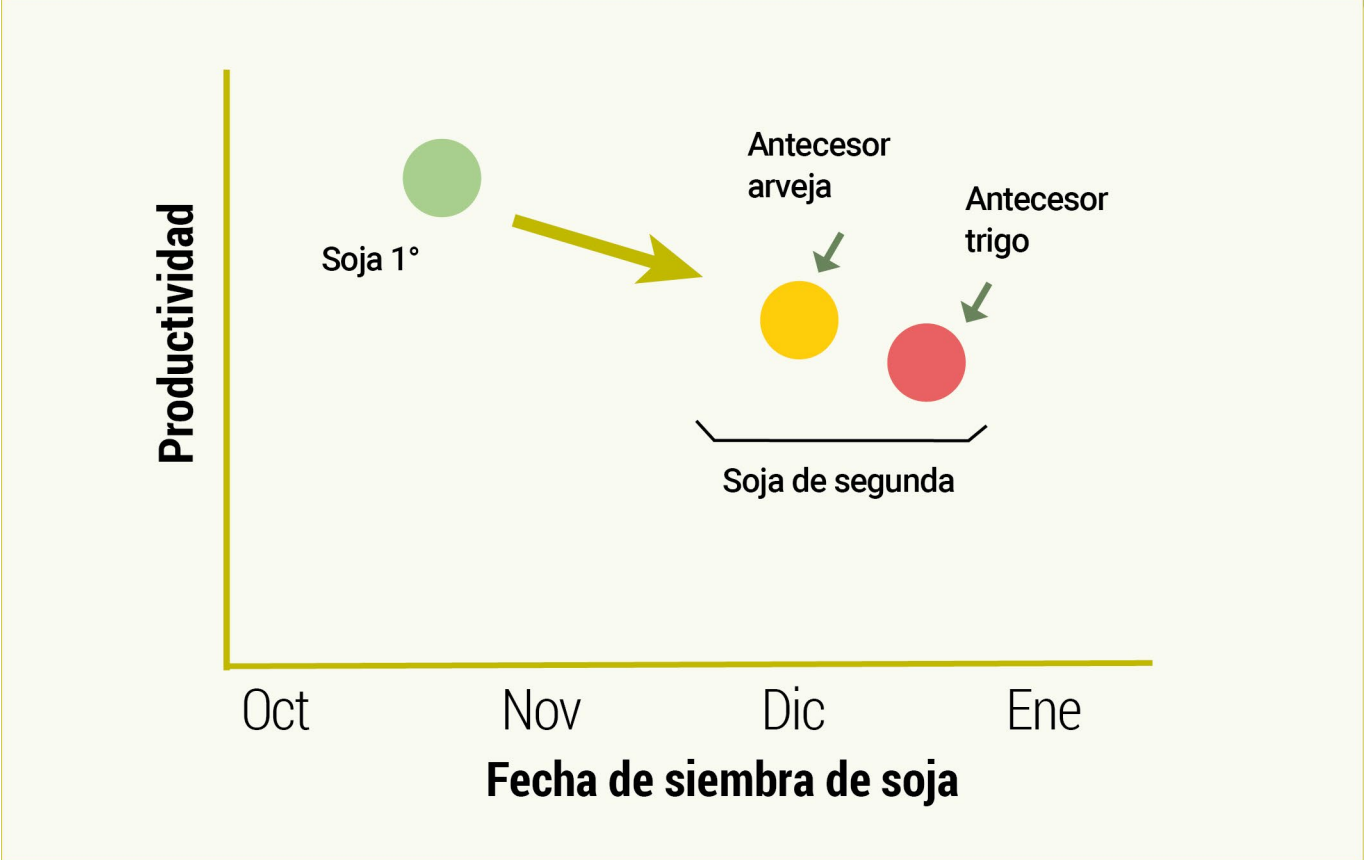
La fecha de siembra tardía acorta el ciclo de la soja, reduciendo la radiación incidente y la temperatura durante las etapas reproductivas. A diferencia del cultivo sembrado en fecha óptima, el de segunda desaprovecha una fracción importante de la radiación incidente durante el período de máxima oferta, que se extiende entre el secado del cultivo invernal y las etapas vegetativas iniciales de la soja. En este lapso, las altas temperaturas favorecen la eficiencia en el uso de la radiación de los cultivos estivales, siempre que otros recursos no limiten la fotosíntesis.

Un modo viable de aumentar la productividad de la soja de segunda en la zona núcleo pampeana consiste en implementar cultivos invernales alternativos, como cebada, arveja o colza, que permiten anticipar la siembra de la soja y dejan mayor disponibilidad de agua (figuras 2c y 2d). Además, estas condiciones incrementan las oportunidades de siembra y reducen los riesgos de implantación de un cultivo de segunda más susceptible al estrés hídrico como el maíz, generando un abanico más amplio de opciones de cultivos dobles.

Figura 1. c) Contenido de agua a la siembra de la soja de primera (luego de barbecho) y de segunda luego de cultivos invernales diferentes (trigo y arveja)



Figura 1. d) Rendimiento de soja en función de la fecha de siembra



Fuente: adaptado de Andrade et al., 2015.

Si bien en los últimos años se han analizado diversas alternativas, la importancia y la difusión del trigo y la soja en la región determinan que el doble cultivo trigo-soja de segunda sea, con diferencia, el más implementado por los agricultores argentinos.

Cultivos dobles en la rotación

Frente a los cultivos simples, los dobles han incorporado abundante conocimiento y pueden ser realizados exitosamente con las herramientas y tecnologías disponibles. Es decir, constituyen una alternativa probada a gran escala con amplias posibilidades de expansión. La elección de cultivos simples, fundamentalmente soja, prioriza el menor riesgo (porque exige menos capital de trabajo) y la estabilidad del cultivo apoyada en la combinación de genotipos y fechas de siembra. Los cultivos dobles, en cambio, ofrecen una alternativa que incrementa la productividad, al tiempo que reduce la variabilidad y permite diversificar los riesgos.

No obstante, cabe preguntarse en qué medida se puede incrementar la frecuencia de cultivos dobles en la secuencia para que los índices de intensificación superen el valor de 1,33 cultivos por año. Las evidencias sugieren que, para realizar cultivos dobles en años sucesivos, es vital diversificar especies, reducir la repetición y lograr un balance entre gramíneas y leguminosas para evitar una caída en los rendimientos.

En sistemas intensificados, donde los períodos de barbecho se encuentran muy acotados, los antecesores tienen gran influencia sobre la dinámica de ciertos nutrientes en el suelo, por lo tanto, sobre la nutrición de los cultivos siguientes, siendo este un aspecto clave para diseñar con éxito las secuencias. En rotaciones dominadas por gramíneas, los cereales trigo y maíz presentan importantes mermas de rendimiento en com-

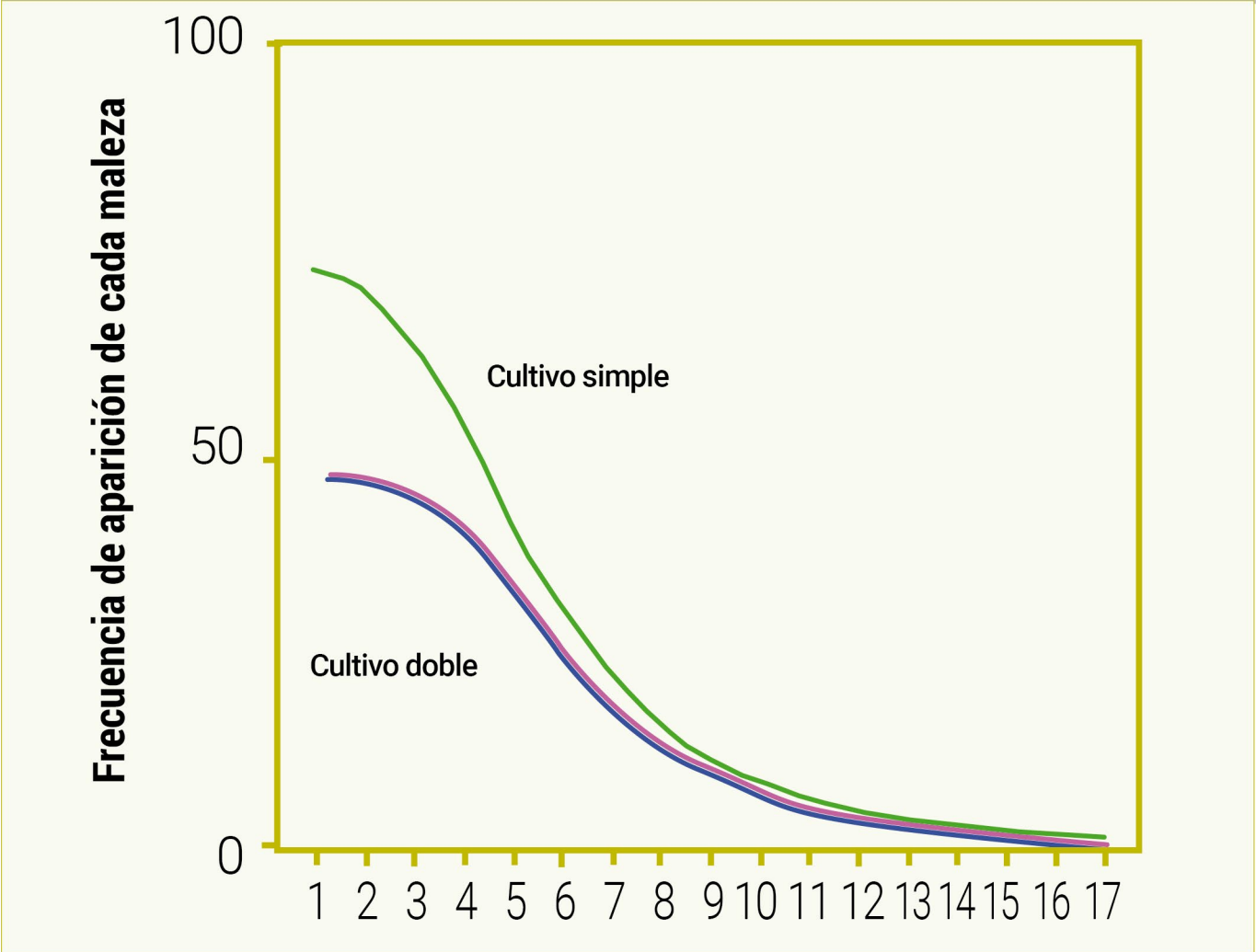
paración con rotaciones balanceadas con leguminosas como arveja y soja. Esto ocurre porque la absorción de nutrientes por parte de los cereales se ve afectada por los cultivos que los preceden en la secuencia, independientemente de que se homogeneice su disponibilidad mediante la fertilización. En trabajos realizados en la zona norte de Buenos Aires se ha comprobado que la inclusión de una leguminosa invernal como la arveja, cuyos residuos poseen una baja relación C:N, mejora el nivel nutricional de los cereales que le siguen en la rotación, incluso hasta dos años después de su cosecha. Este tipo de residuos interactúa con la fracción orgánica del suelo y reduce los períodos de depresión en la cantidad de N-NO_3 disponible para los cultivos en crecimiento.

Externalidades positivas de sistemas intensificados

Además de las ventajas mencionadas, la intensificación de las rotaciones mediante cultivos de cosecha provee servicios adicionales al sistema de producción. Si bien, a diferencia de los cultivos de servicio, los de cosecha exportan una fracción de la producción, producen al mismo tiempo biomasa aérea y subterránea que aporta al balance de carbono del suelo, ayuda a mitigar anegamientos y proveen cobertura reduciendo la erosión, además de formar parte del control integrado de malezas. Por ejemplo, se ha determinado que la identidad de los cultivos seleccionados determina cambios en la composición de especies de la comunidad de malezas y que los sistemas de cultivo doble, al interceptar más radiación, reducen la aparición de las especies más frecuentes (figura 2). Por estas razones, implementar secuencias de cultivos intensificadas y diversas es una vía para reducir la presencia de malezas problemáticas.

Por otro lado, estudios recientes de mediano plazo realizados en el norte de la provincia de Buenos Aires indican que la intensificación de la secuencia de cultivos, al mantener un

Figura 2. Frecuencia de aparición de malezas en marcos arrojados al azar luego de la cosecha de un cultivo estival simple (verde) y luego de la cosecha del cultivo de segunda (rojo y azul). En el eje x, las malezas presentes se encuentran ordenadas según la frecuencia de aparición en cada caso.

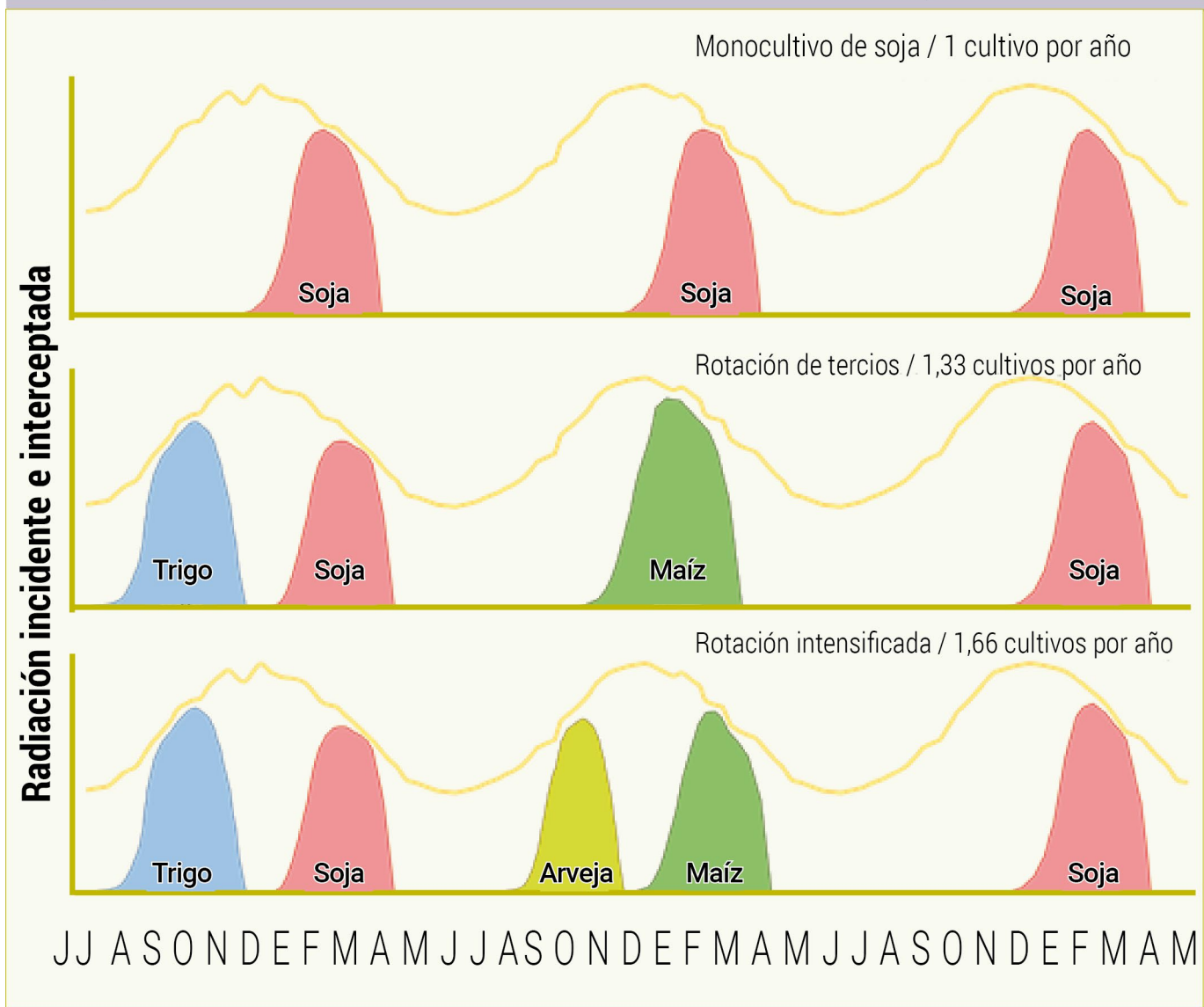


Fuente: adaptado de Andrade et al., 2017b.

balance entre gramíneas y leguminosas, tiene un impacto positivo en el ambiente edáfico que resulta en incrementos de la productividad de los cultivos siguientes. En dichos estudios se evaluaron rotaciones de bajo, medio y alto índice de intensificación (figura 3). Al finalizar el segundo ciclo –es decir, al sexto año desde el inicio de los experimentos–, la soja en la rotación intensificada evidenció un incremento en los rendimientos cercano al 5% respecto de la rotación de tercios, y de hasta 15% comparada con la monocultura de soja (datos aún no publicados). Las mejoras en el ambiente productivo se centrarían en el contenido de materia orgánica y en la estructura del suelo, en la infiltración del agua y en la interacción del suelo con los residuos de cosechas previas.

Figura 3. Dinámica de la radiación incidente y su intercepción a lo largo de tres años en rotaciones con diferente composición de especies cultivadas e índices de intensificación (número de cultivos por año).

En las tres rotaciones se realiza soja de primera cada tres años; por lo tanto, se la puede utilizar como sensor de los cambios en el ambiente productivo.



Comentarios finales

En este capítulo se presentaron los avances más recientes en el conocimiento agronómico de los sistemas agrícolas intensificados. Mientras aquellos aspectos que contribuyen a incrementar la productividad de un cultivo mediante el progreso genético, las decisiones de manejo de cultivos individuales y el uso de insumos recibieron mucha atención en el pasado, los intentos de comprender integralmente la dinámica de los sistemas de producción agrícola han sido comparativamente más escasos.

En la búsqueda por aumentar la producción de alimentos, los avances genéticos y el manejo de los cultivos deberán ser complementados con tecnologías de producción que eleven los rendimientos mediante una optimización en el uso de los recursos e insumos, tales como los aquí presentados. Resta aún investigar de qué manera los cultivos de servicios abordados en capítulos previos podrían complementar estos sistemas que ya se encuentran intensificados mediante cultivos de renta. Más allá de esto, las consideraciones presentadas en este capítulo revisten gran relevancia en la región agrícola argentina. Cerca del 80% de la superficie destinada a cultivos de grano es sembrada con cultivos simples, por lo que existe margen para incrementar sustancialmente la producción total con una simple expansión del área cultivada con cultivos dobles.

Bibliografía

Andrade, J.F., Poggio, S.L., Ermacora, M., Satorre, E.H. "Land use intensification in the Rolling Pampa, Argentina: Diversifying crop sequences to increase yields and resource use". *European Journal of Agronomy* 82: 1-10. 2017a.

Andrade, J.F., Satorre, E.H., Ermacora, M., Poggio, S.L. "Weed communities respond to changes in crop sequence and double cropping". *Weed Research*, en pruebas de galera. 2017b.

Andrade, J.F., Poggio, S.L., Ermacora, M., Satorre, E.H. "Productivity and resource use in intensified cropping systems in the Rolling Pampa, Argentina". *European Journal of Agronomy* 67, 37-51. 2015.

Andrade, J.F., Satorre, E.H. "El doble cultivo en los sistemas de producción de la Región Pampeana". *Cultivar decisiones*, Buenos Aires, Argentina. 2015a.

Andrade, J.F., Satorre, E.H. "Single and double crop systems in the Argentine Pampas: Environmental determinants of annual grain yield". *Field Crops Research* 177, 137-147. 2015b.

Calviño P., Monzón, J.P. "Farming systems of Argentina: yield constraints and risk management". Pp 55-70. En: Sadras, V.O., Calderini, D.F. (eds.) *Crop physiology*. Elsevier, Amsterdam. 2009.

Caviglia, O.P, Sadras, V.O, Andrade, F.H. "Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas: I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean". *Field Crops Research*, 87: 117-129. 2004.

Monzón, J.P., Sadras, V.O., Abbate, P.A., Caviglia, O.P. "Modelling management strategies for wheat-soybean double crops in the south-eastern Pampas". *Field Crops Research* 101, 44-52. 2007.

Studdert, G.A., Echeverría, H.E. "Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics". *Soil Science Society of America Journal* 64, 1496-1503. 2000.

9

Los cultivos de servicios y el control de malezas tolerantes y resistentes



**Ings. Agrs. Joaquín Bello, Matías Campos y Cecilia Panizzo
e Ing. Prod. Agrop. María A. Paolini**

Unidad de Investigación y Desarrollo del Movimiento CREA.



En las últimas dos décadas, los sistemas agrícolas tendieron a simplificarse. La manera de hacer agricultura pasó de estar diversificada en lo relativo a cultivos y prácticas de manejo -a menudo en rotación con pasturas y campos naturales- a adoptar una forma bastante más estandarizada. Durante un período prolongado primó una fuerte concentración en la siembra de unas pocas especies y en el uso reiterado, año tras año, de las mismas herramientas de manejo. Este modelo productivo fue muy exitoso durante un tiempo y también, en parte, responsable de la expansión de la frontera agrícola en la región pampeana.

A partir de la introducción de cultivos transgénicos con resistencia a herbicidas, principalmente en variedades de soja y, en segundo lugar, en híbridos de maíz, la forma de controlar malezas se basó casi exclusivamente en la aplicación de este tipo de productos. El uso de manera reiterada –y en la mayoría de los casos excesivo– de una misma herramienta a lo largo de varios años y en una amplia superficie llevó a seleccionar poblaciones tolerantes y resistentes de malezas. Dicho de otra forma: el problema de malezas -que se incrementó exponencialmente durante el último lustro- fue uno de los primeros síntomas de deterioro que mostró el sistema de producción, alertando así sobre los inconvenientes que comenzaban a acarrear las prácticas productivas simplificadas (figura 1).

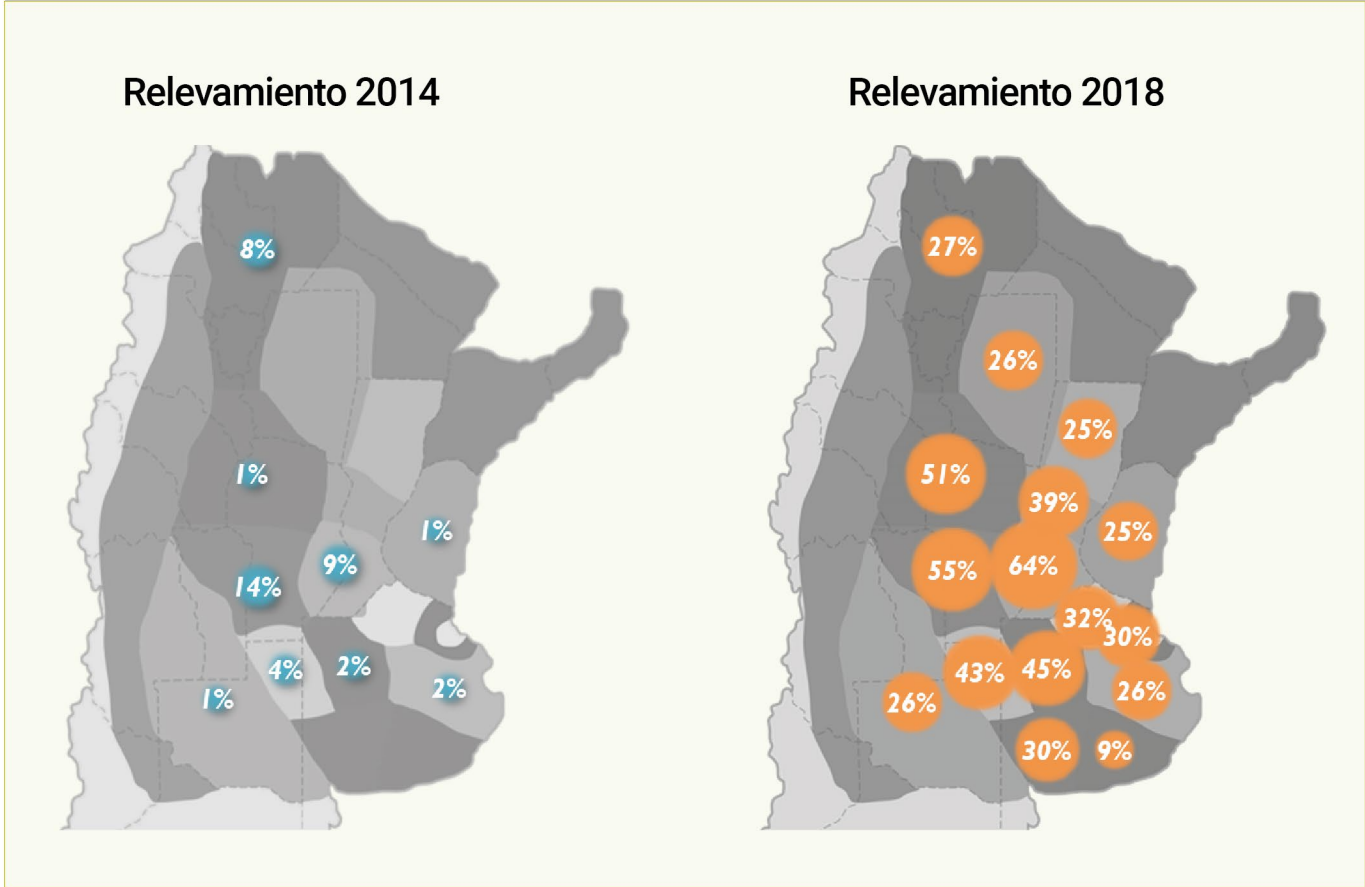
En la actualidad, mantener la diversidad por medio de una rotación balanceada y la inclusión de cultivos de servicios es una herramienta interesante para el manejo de malezas, algo que también contribuye a mejorar las propiedades físicas del suelo, su fertilidad y el balance de nutrientes, y a evitar la erosión.

Por las razones mencionadas, desde el año 2015 en el marco del Proyecto Malezas CREA, cada una de las regiones agrícolas del Movimiento lleva adelante una serie de módulos de evaluación (ensayos a campo) donde se ponen a prueba di-

versas estrategias para el manejo de malezas de difícil control. En algunos de estos módulos, además de las estrategias químicas, se evalúa el uso de cultivos de servicio, a fin de delimitar su capacidad para colaborar con el control y determinar bajo qué circunstancias se obtienen los mejores resultados.

Si bien las experiencias a lo largo del tiempo y entre regiones fueron distintas, a partir de la recopilación y análisis de los resultados se observaron algunos patrones de coincidencia respecto a los efectos directos de los cultivos de servicio en el control de las poblaciones de malezas problemáticas.

Figura 1. Evolución de la superficie afectada por *Amaranthus sp.* en distintas regiones CREA en 2014 y 2018



Experiencias regionales

Desde el surgimiento del Proyecto Malezas, en la región CREA Centro se trabajó en diversas estrategias para el manejo de *Amaranthus palmeri* (yuyo colorado), especie principal dentro del módulo regional por estar ampliamente difundida.

Una parte del módulo correspondiente a la campaña 2016/17 realizado sobre soja y maíz tuvo como antecesor un cultivo de servicio durante el invierno (centeno, vicia y trigo, entre otros), observándose menor presencia de yuyo colorado dentro de aquellas parcelas que fueron ocupadas por el cultivo de servicio respecto de las parcelas testigo (que tuvieron un barbecho químico típico de la zona). Esto se observó a los 45 días de la siembra de soja y maíz, y también al finalizar el ciclo de los cultivos. Con respecto a las diferentes especies que fueron puestas a prueba, en la primera evaluación el tratamiento con vicia fue el que mostró la menor frecuencia de la maleza, aunque al finalizar el cultivo, el centeno controlado químicamente fue el que mostró menor cantidad total de plantas de yuyo colorado, seguido por el centeno rolado y, por último, por el tratamiento con *Vicia villosa* (gráficos 1, 2 y 3).

En el módulo de la campaña 2017/18 de la misma región, mediciones realizadas en las etapas iniciales del cultivo de soja indicaron que, nuevamente, las parcelas con cultivos de servicios mostraron un efecto supresor positivo sobre la población de *Amaranthus*, logrando un 35% menos de frecuencia de la maleza (promedio de todos los tratamientos) que aquellas que tuvieron un barbecho descubierto. En evaluaciones posteriores, la franja de centeno fertilizado –con mayor producción de materia seca que el resto– mantuvo la ventaja con respecto a las de barbecho, aunque no ocurrió lo mismo con el resto de los tratamientos (centeno sin fertilizar y multiespecies).

Algo similar sucedió en el módulo de la campaña 2018/19, aunque con un desempeño aún mejor de los cultivos de servicios. En dicho ensayo se evaluaron dos tratamientos: centeno de baja y de alta tecnología con mayor densidad de siembra y aplicación de fertilizante nitrogenado y fosforado. Ambos tratamientos evidenciaron menor presencia de yuyo colorado con respecto al barbecho de soja (testigo) y, tal como cabía esperar, generaron distintos volúmenes de biomasa durante

Gráfico1 y 2. Frecuencia de yuyo colorado medida 45 días después de la siembra de soja (barras verdes) y de maíz (barras amarillas) en distintos sistemas de manejo del barbecho respecto del testigo con barbecho químico. Fecha de siembra: 15/11/16. Módulo de evaluación de la región CREA Centro. Campaña 2016/17.

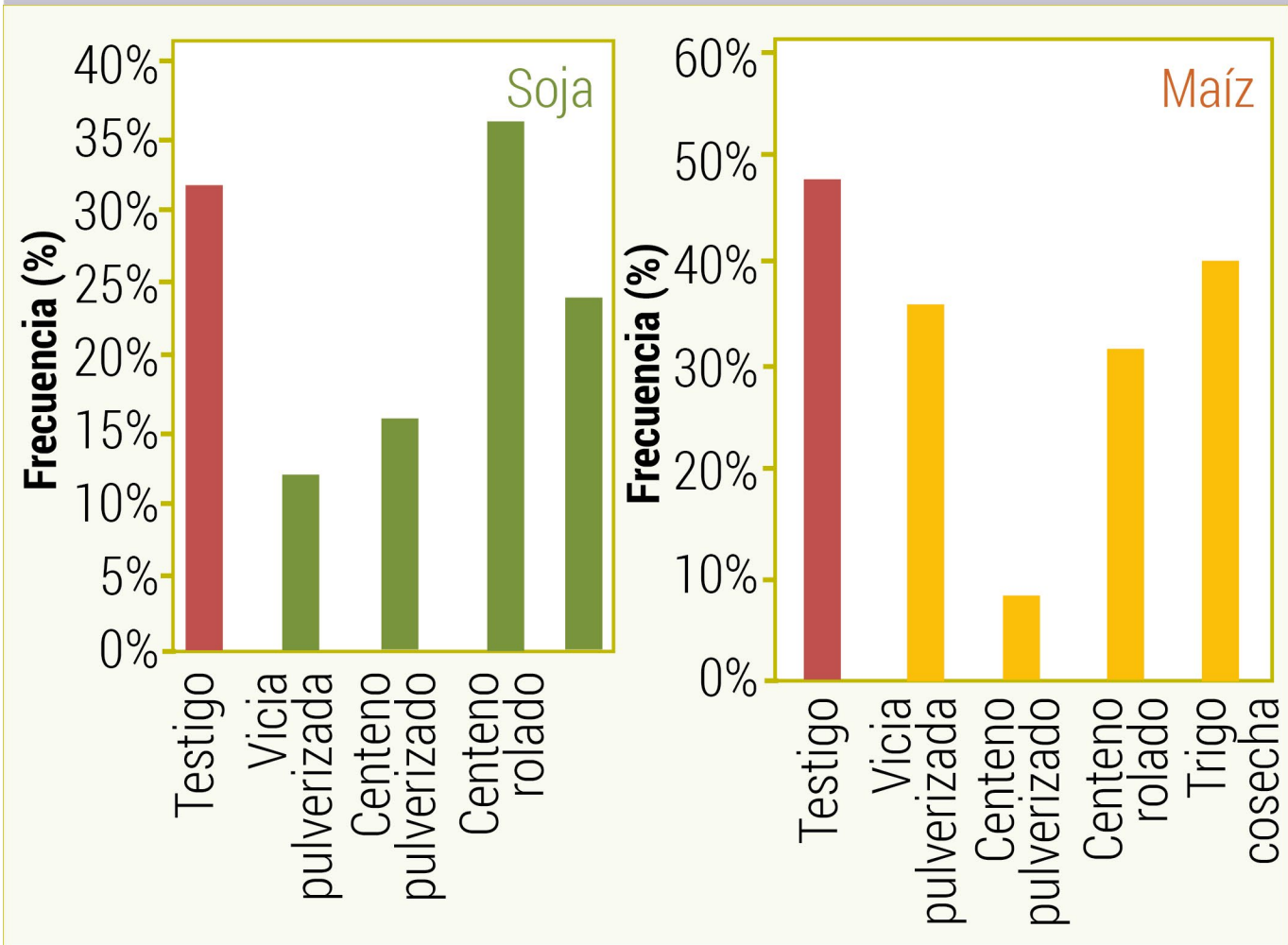
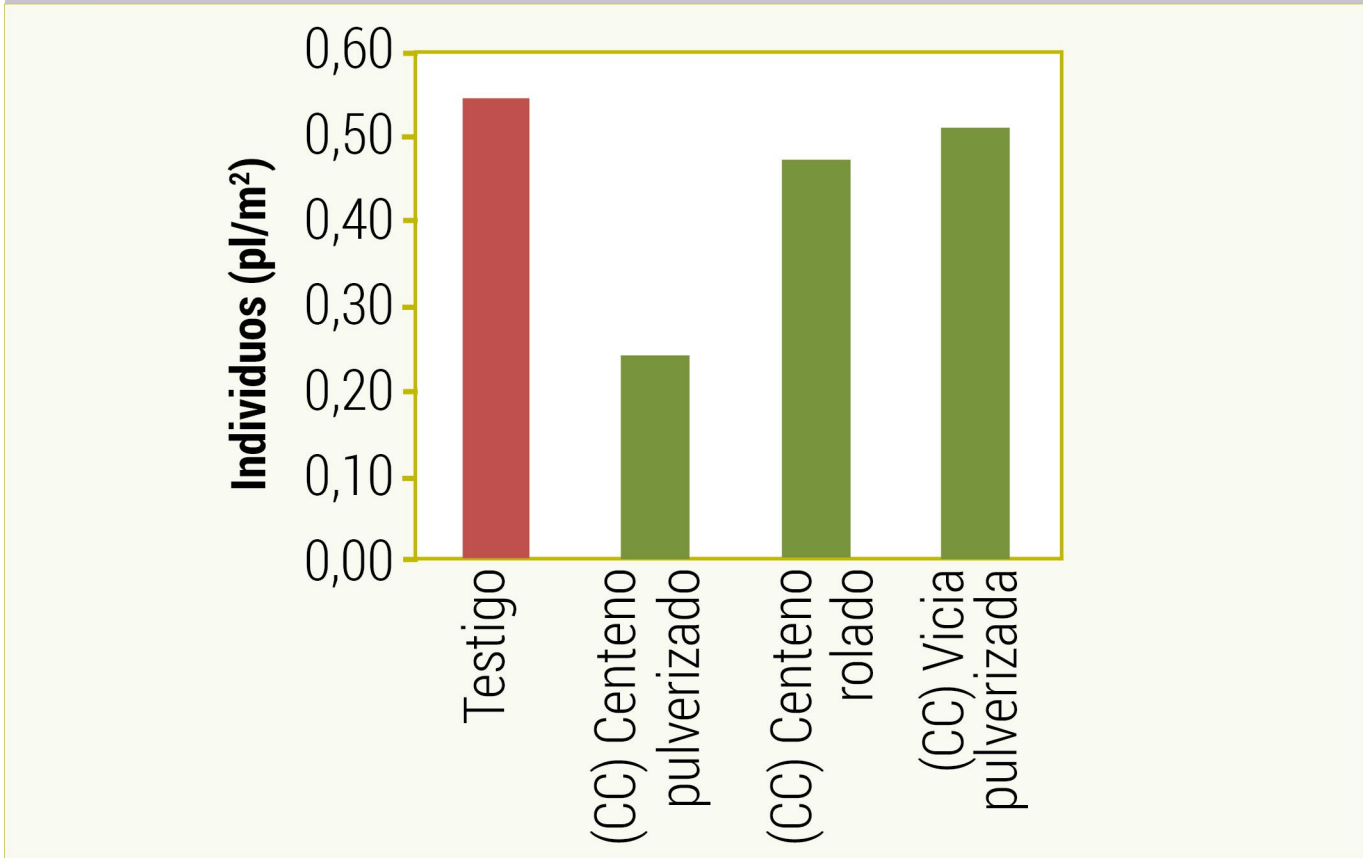


Gráfico 3. Densidad de yuyo colorado medida el 12/04/17 hacia el final del cultivo de soja (pl/m²). Fecha de siembra: 15/11/16. Módulo de evaluación de la región CREA Centro. Campaña 2016/17.



Cuadro 1. Estrategia sistémica

Módulo de evaluación región CREA Centro, campaña 2017/18.

Cultivo de servicio	Nivel tecnológico	Fecha de siembra	Materia seca (kg/ha)	Fecha de secado
Centeno de bajo potencial	(60 kg de centeno + 100 kg MAP + 100 kg de urea)/ha	23/05/2017	7694	10/10/2017
Centeno de alto potencial	30 kg de centeno/ha sin fertilización	23/05/2017	6430	10/10/2017
Multiespecies	Vicia, centeno, avena, trébol rojo, nabo y zanahoria	23/05/2017	4262	23/10/2017

su ciclo de crecimiento, alcanzando 1904 y 3594 kilos de materia seca por hectárea, respectivamente. En ambos casos se registró menor incidencia de yuyo colorado que en la parcela sin centeno (38% y 26% de frecuencia de dicha maleza en centeno de baja y alta tecnología, respectivamente *versus* 68% de frecuencia en barbecho).

Posteriormente, los cultivos de servicios fueron secados en forma química. Un mes y medio después se aplicaron herbicidas de presiembra para cultivos de soja y maíz. Pasados 21 días desde la aplicación de preemergentes se realizó una nueva medición de frecuencia de yuyo colorado: en esta oportunidad, esta fue ligeramente superior en la parcela de centeno de baja tecnología con respecto al centeno fertilizado y con mayor densidad de siembra (42% vs. 39%, respectivamente). En la última medición, realizada 42 días después de la aplicación de herbicidas preemergentes, la maleza se recuperó y la frecuencia de yuyo colorado fue menor en las parcelas con cultivos de servicios que en aquellas que no lo tenían; sin embargo, el recuento fue elevado en todos los casos (80% en cultivos de servicios con baja tecnología; 78,7% en aquellos con alta tecnología y 97,7% sin cultivos de servicios; gráfico 4).

En la región Sur de Santa Fe, en el módulo correspondiente a la campaña 2016/17 se compararon distintas estrategias químicas para el manejo de *Eleusine indica*, las cuales fueron aplicadas sobre un barbecho tradicional y sobre un lote que tuvo cultivo de trigo como cobertura previa a la siembra –en

ambos casos– de maíz tardío. A su vez, cada una de estas parcelas contaba con un testigo a la par (sin aplicación).

Al analizar únicamente el efecto de la cobertura sobre el control de la maleza problemática, la inclusión del trigo en los testigos (parcelas sin herbicidas) disminuyó significativamente la presencia de Eleusine desde los primeros días posteriores al secado hasta que transcurrieron 79 días (gráfico 5).

Gráfico 4. Frecuencia de yuyo colorado en distintos momentos de evaluación para cultivos de servicio y barbecho en soja.
Módulo de evaluación de la región CREA Centro, campaña 2018/19.

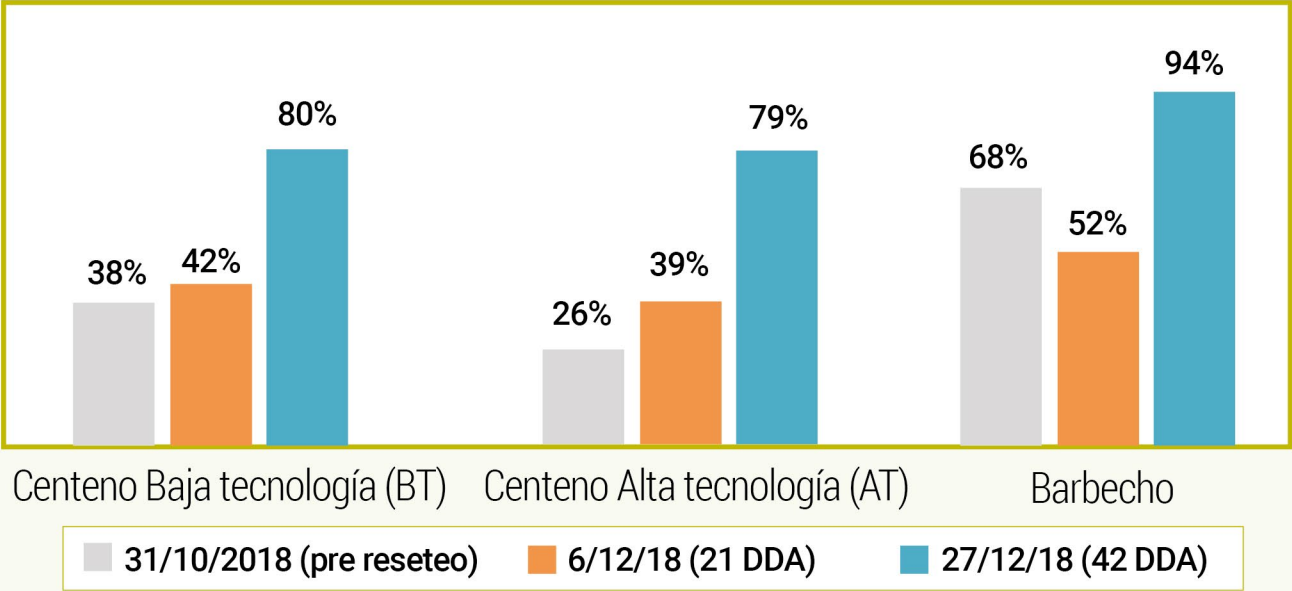
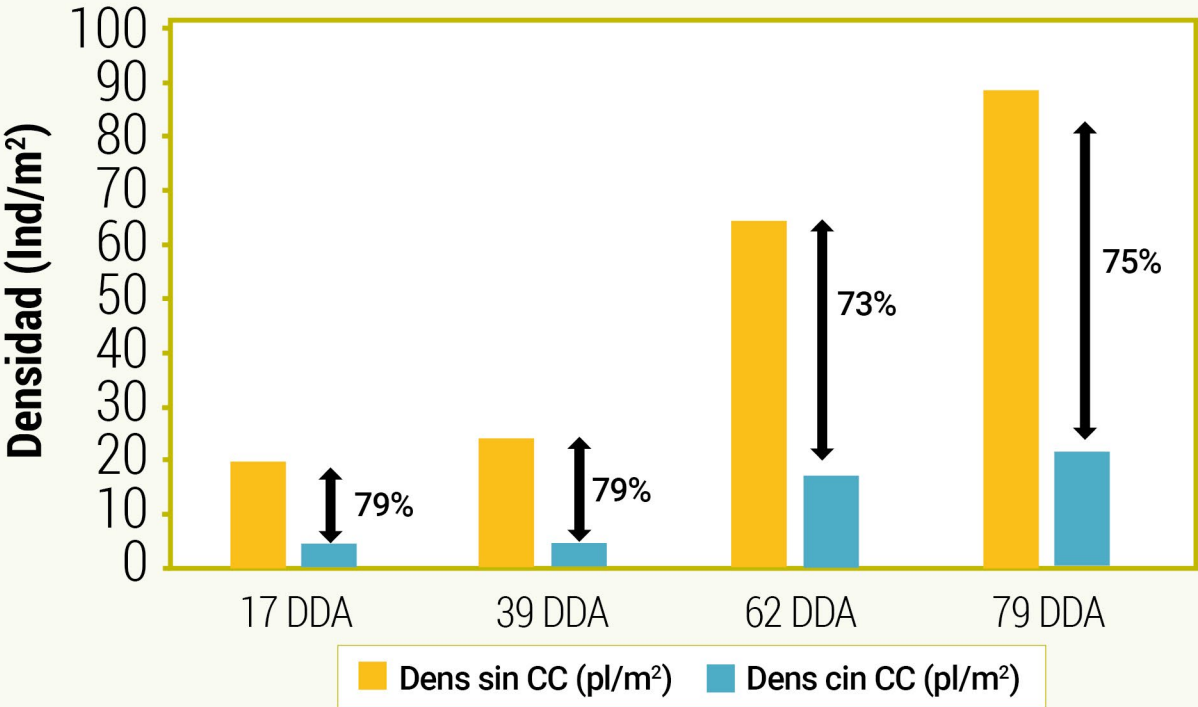


Gráfico 5. Densidad de *Eleusine indica* en testigos con y sin cultivos de cobertura (pl/m²). Módulo de evaluación de la región CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2017/18



En la misma región, durante la campaña 2017/18 la inclusión de *Vicia villosa* y trigo como coberturas previas al cultivo de soja tuvo un efecto supresor sobre la emergencia de yuyo colorado, manteniendo el lote limpio hasta el fin del ciclo (gracias a su elevada producción de materia seca). La vicia mostró mayor capacidad de control para yuyo colorado y rama negra (0,25 y 0,5 pl/m², respectivamente) que la cobertura con trigo (0,5 y 1,75 pl/m²) y que el barbecho sin cobertura (testigo) (1,5 y 3 pl/m²).

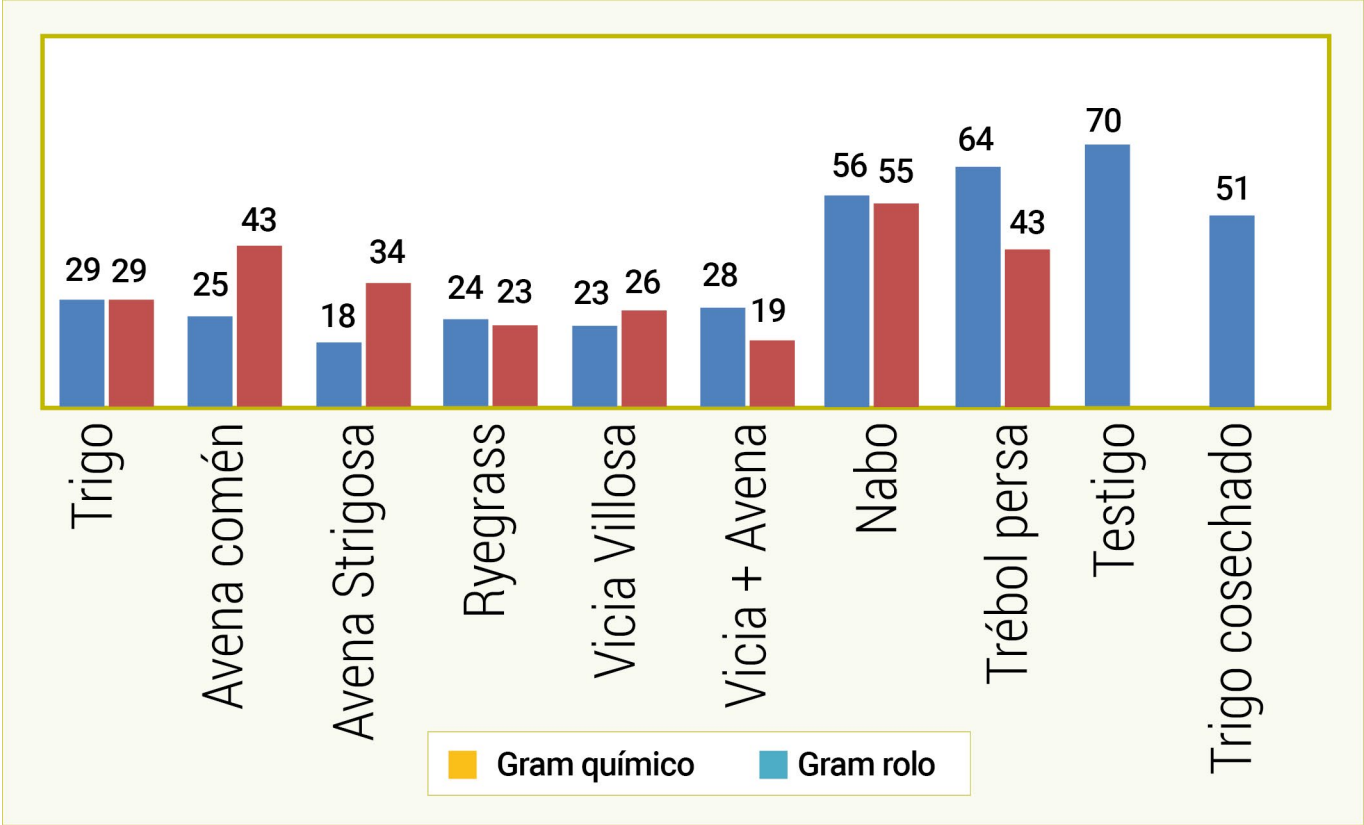
Por su parte, en la misma campaña, pero en la región Centro, el cultivo de servicio de *Vicia villosa* en combinación con centeno también reveló que su presencia dificulta el establecimiento de malezas en el cultivo de maíz. Antes de resetear el ensayo, el testigo barbechado presentó un 15% de incidencia de yuyo colorado, mientras que el cultivo de servicio evidenció un 10%; a los 24 días del reseteo, el testigo presentaba un 25% de incidencia y el cultivo de servicios, un 30%; sin embargo, a los 46 días este último se mantuvo en dicho 30%, mientras que el testigo ascendió a 47%.

En el módulo 2017/18 de la región CREA Santa Fe Centro, a pesar del limitado desarrollo de las coberturas por el retraso de la siembra (01/06/2017) también se verificó que en aquellos sectores donde se implantó una cubierta vegetal durante el invierno, la cantidad de malezas era menor que donde no la había.

Esta tendencia se mantuvo en el módulo de la campaña 2018/19, donde se evaluaron distintas especies como cobertura (gramíneas, latifoliadas y una combinación de *Vicia villosa* y avena) para el control de *Eleusine indica* y *Echinochloa colona*. En esta oportunidad, se observó que el testigo sin cultivo de servicios fue el que presentó mayor densidad de malezas gramíneas, mientras que el trigo cosechado estuvo cerca de duplicar los valores de malezas encontrados en los cultivos de

servicios bien implantados. Las franjas con distintas especies de cultivos de servicios, tanto gramíneas como vicia, mostraron disminuciones significativas y similares en la cantidad de malezas presentes. Cabe aclarar que nabo y trébol persa no lograron una buena implantación y densidad, por lo que no se pudieron extraer conclusiones de esos tratamientos. En esa experiencia, el secado de las coberturas se realizó de dos maneras: con aplicación de herbicidas y con rolado, pero no se detectó una tendencia clara en el recuento posterior de malezas en función del método de finalización (gráfico 6).

Gráfico 6. Recuento de gramíneas en cada tratamiento (plantas/m2) con el secado químico y por rolado.
Módulo de evaluación región CREA Santa Fe Centro. Campaña 2018/19.



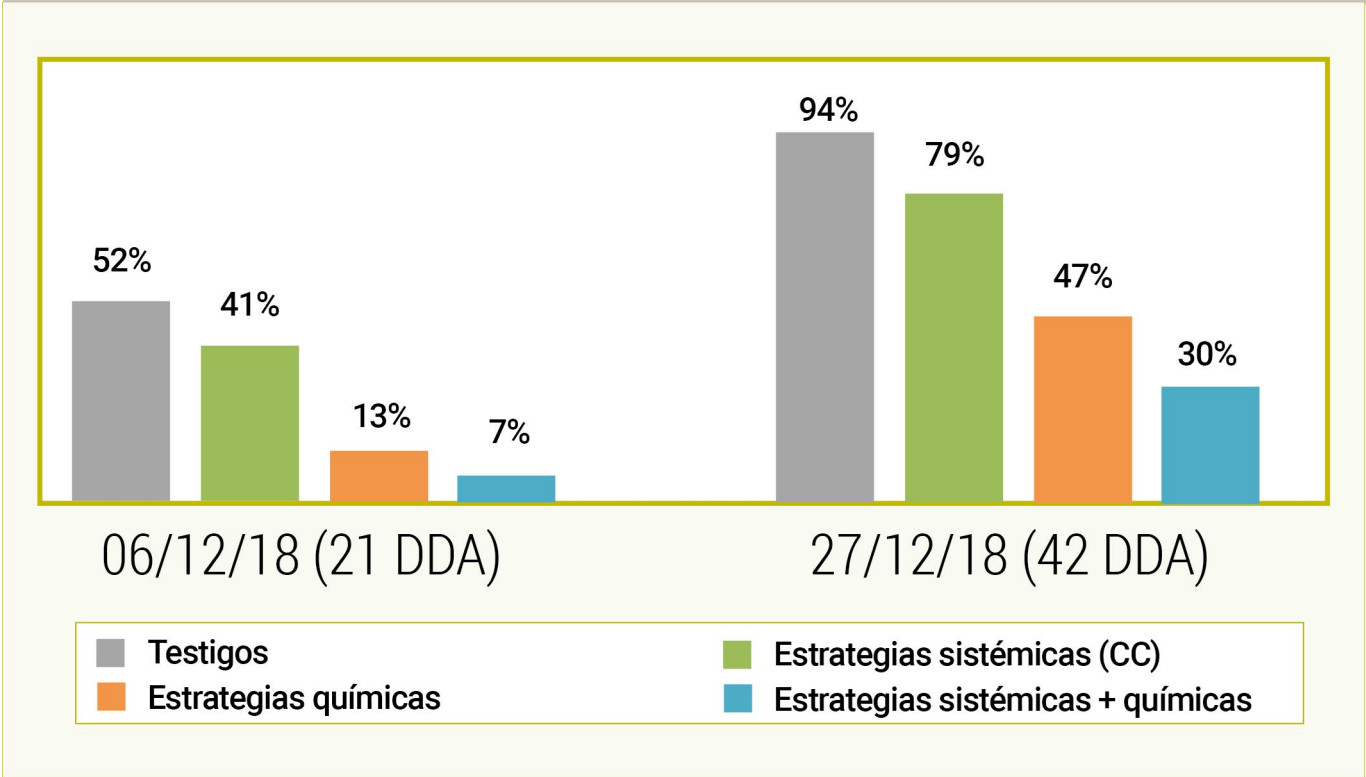
Manejo integrado de malezas

Tal como se comentó al inicio de este capítulo, la diversidad de cultivos y la combinación de prácticas son factores vitales a la hora de manejar malezas. A continuación, se ofrece una síntesis de los aprendizajes surgidos de la combinación de cultivos de servicios con estrategias químicas (diferentes herbicidas aplicados en distintos momentos).

En la campaña 2017/18 en la región Centro, la combinación de cultivos y prácticas de manejo evidenció una menor frecuencia de yuyo colorado que las franjas donde sólo se sembraron cultivos de servicios. Fue así que, en la primera medición, el promedio de frecuencia de esa maleza en los tratamientos que combinaron cultivos de servicios y herbicidas fue de 7,3%, mientras que en las franjas que solo tuvieron cultivos de servicios fue de 12,6%, y de 57% en el testigo sin cultivos de servicios ni herbicidas.

Durante la campaña 2018/19, en este mismo sitio se observaron resultados similares en soja en cuanto al efecto individual y combinado de prácticas culturales y químicas. Los cultivos de servicios lograron reducir la presión de malezas, mientras que las estrategias químicas (herbicidas preemergentes) generaron un aporte de mayor magnitud relativa. Por su parte, la combinación de ambas prácticas (cultivos de servicios + estrategia química) generó mayor disminución de la frecuencia de yuyo colorado que cada grupo de prácticas por separado (gráfico 7).

Gráfico 7. Frecuencia promedio de yuyo colorado en función de la estrategia de control (%). Módulo de evaluación región Centro. Campaña 2018/19.



En la campaña 2016/17 se observó un comportamiento similar en la región Sur de Santa Fe, donde el control de *Eleusine* en maíz tardío fue mayor cuando se combinó el cultivo de servicio (trigo) con herbicidas. De hecho, los tratamientos químicos que lograron el menor control en el caso del barbecho descubierta mejoraron su desempeño en las evaluaciones más alejadas de la aplicación (60 y 79 días después) cuando se hicieron en parcelas con cultivos de servicios. También se observó una disminución en el flujo de nacimientos de *Eleusine*, aunque no ocurrió lo mismo en el caso de yuyo colorado; los nacimientos fueron mayores a principios de enero con trigo de cobertura que sin él, aunque el cultivo de servicio logró atrasar y concentrar la emergencia en un solo momento, lo que colaboró con un control más eficiente.

Conclusiones

La inclusión de cultivos de servicio entre las estrategias de manejo redujo el establecimiento temprano de malezas, siempre que se lograron densidades cercanas a las planificadas y mientras la fecha de siembra fuera la adecuada (temprana) para favorecer la producción de abundante biomasa.

El desempeño alcanzado por el uso de distintas especies como cobertura en el control de las malezas identificadas como problemáticas en cada región CREA fue variable, dependiendo de la producción de biomasa (en general, a mayor biomasa mejor control).

A su vez, se observó que el efecto de control se modifica con respecto a los testigos sin cobertura en función del tiempo transcurrido desde la fecha de finalización del cultivo de servicio a través de la aplicación de herbicidas. Estas diferencias relativas parecen tener un origen multifactorial, en función de las características particulares de cada año, cada lote y cada

maleza. Las observaciones y la bibliografía sugieren que podrían deberse a la producción de materia seca alcanzada por el cultivo de servicio y al remanente que queda como consecuencia de su descomposición y de la disposición de la cobertura al final del cultivo de servicio, lo que provoca un retraso en la emergencia de los primeros flujos de malezas por constituir una barrera a la luz y un regulador de la temperatura. Por ello, suele observarse una concentración de la germinación en fechas más alejadas de las que tendrían lugar de no estar presente la cobertura. En estas condiciones, el efecto de los herbicidas residuales se vería disminuido.

En general, el efecto de control de los herbicidas residuales se vio potenciado por la inclusión de cultivos de servicio en el sistema. Sin embargo, debido a que éstos alteran el normal flujo de malezas y la llegada de los herbicidas residuales al suelo, es importante sincronizar su acción con la germinación para que el control resulte más efectivo.

En varias especies de servicios se observó una gran disminución del porcentaje de individuos de maleza presentes, destacándose el centeno, *Avena sativa* y *A. strigosa*, *Vicia villosa* y la combinación de ésta última con especies gramíneas.

Sin lugar a dudas, los cultivos de servicio son una práctica agronómica cuyo porcentaje de adopción y participación crecerá en los próximos años. Sus aportes a la sostenibilidad de los sistemas de producción son numerosos, además de colaborar en el abordaje de importantes desafíos, como los problemas de malezas. Sin embargo, como toda práctica agronómica, su manejo requiere la adaptación a cada modelo de producción y a cada ambiente. No existen recetas que puedan ser aplicadas en forma universal. Su adopción exige la comprensión de las interacciones que tienen lugar dentro del sistema y el abordaje de los nuevos desafíos que plantean los cultivos de servicios. Solo por detallar algunos de ellos,

resulta necesario tener en cuenta el consumo de agua en los horizontes superiores y profundos; la tasa de reposición de agua en el perfil en cada región y en cada año; los efectos sobre la profundidad de la napa; la fijación biológica de nitrógeno; la proliferación de insectos perjudiciales para los cultivos; las interacciones alelopáticas y los efectos sobre la llegada de los herbicidas al suelo y al blanco, entre otros.

10

Intensificación de la agricultura y ganadería pastoril



Dr. Ernesto F. Viglizzo

Consultor privado.



La ganadería extensiva comenzó en el siglo XVI, tras el arribo de los primeros inmigrantes ganaderos procedentes de Europa, que trajeron consigo sus herramientas y sus rudimentarios métodos de producción. Luego de introducir la hacienda en la vastedad de la pampa argentina, el pastoreo fue el principal regulador de la estructura y funcionamiento de los pastizales nativos, y también el principal modificador del paisaje. La agricultura de cosecha vino poco después. Debido a la ausencia de alambrados, en un principio, los cultivos se sembraban cerca de los poblados para protegerlos del pastoreo y de otras amenazas.

El área de cultivo comercial comenzó a extenderse recién a fines del siglo XIX en respuesta a la inmigración europea masiva, a la introducción del alambrado y a la expansión de la red ferroviaria. A partir de ese momento, los sistemas mixtos que combinaban cultivos de cosecha y ganadería bovina pastoril desarrollaron una rica tradición en la Argentina. En la actualidad, buena parte del pastizal pampeano prístino fue convertido en tierras de pasturas cultivadas y cultivos anuales.

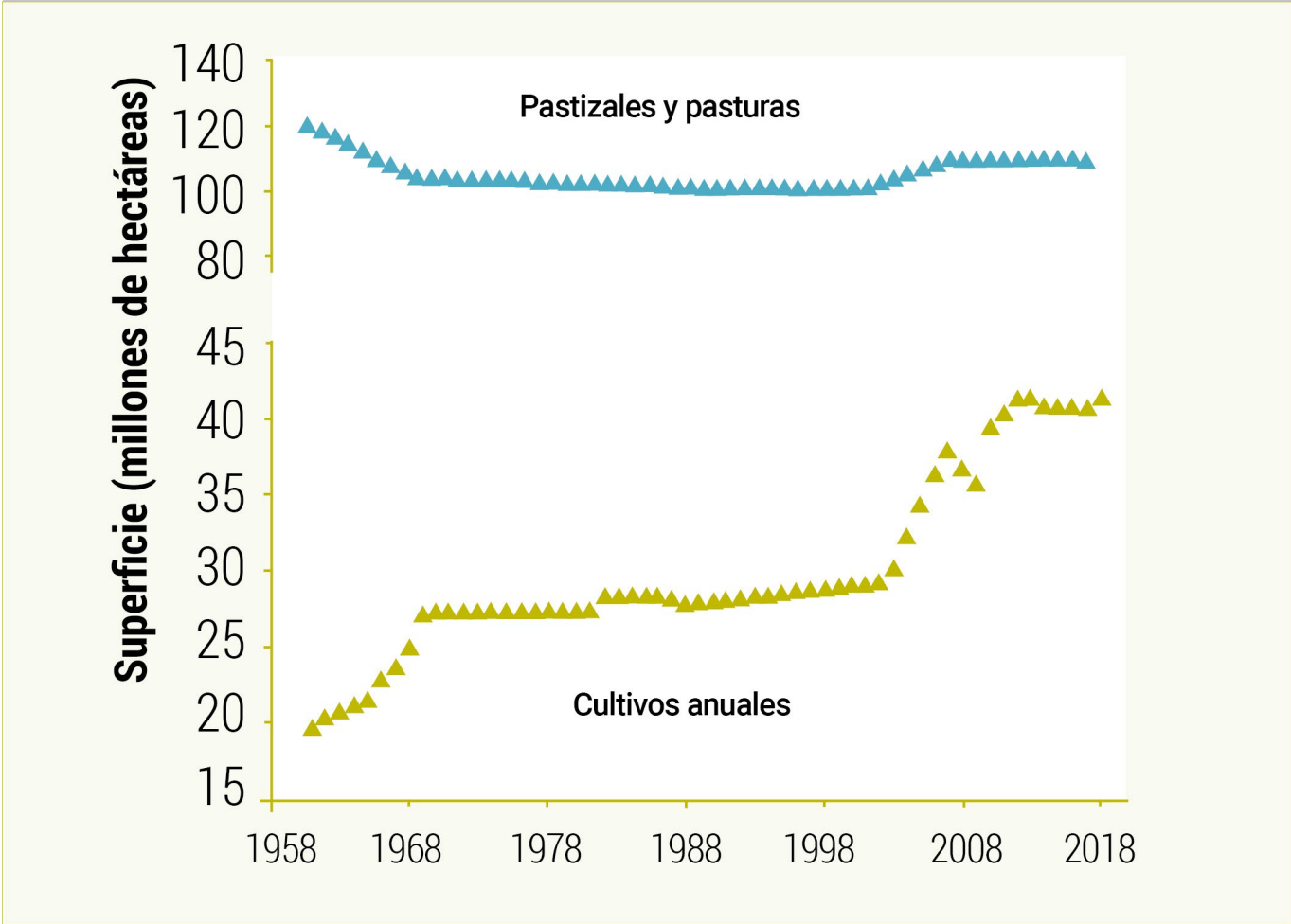
A comienzos del siglo XX el sistema de producción mixto fue evolucionando en función de las demandas económicas, productivas y sociales de la familia rural pampeana; requería pocos insumos y ayudaba a mantener parte de la fertilidad y la estructura de los suelos. Hasta las décadas del 60 y del 70 fue un sistema relativamente exitoso que prosperó con pocos altibajos y fue “exportado” hacia otras regiones del país. Si bien adoptó los planteos productivos y tecnológicos que se aplicaban en la pradera pampeana, migró posteriormente hacia el norte de la Argentina donde desarrolló perfiles propios adaptados al ambiente de cada región.

Durante décadas, la ganadería bovina sobre pastizales y pasturas fue el patrón dominante del sistema mixto, pero entre los años 60 y 70 la agricultura de cosecha comenzó a re-

clamar territorio y a extenderse a expensas de las tierras ganaderas. Desde entonces, la superficie cultivada experimentó una relativa caída en años siguientes, pero a partir de fines del siglo XX y en la primera década del siglo XXI (con excepción de algún altibajo sufrido entre 2009 y 2010 debido a una intensa sequía) el área de cultivos anuales creció con renovado vigor hasta el año 2011. En el noreste y noroeste del país lo hizo a expensas de tierras naturales de bosques, arbustales y pastizales.

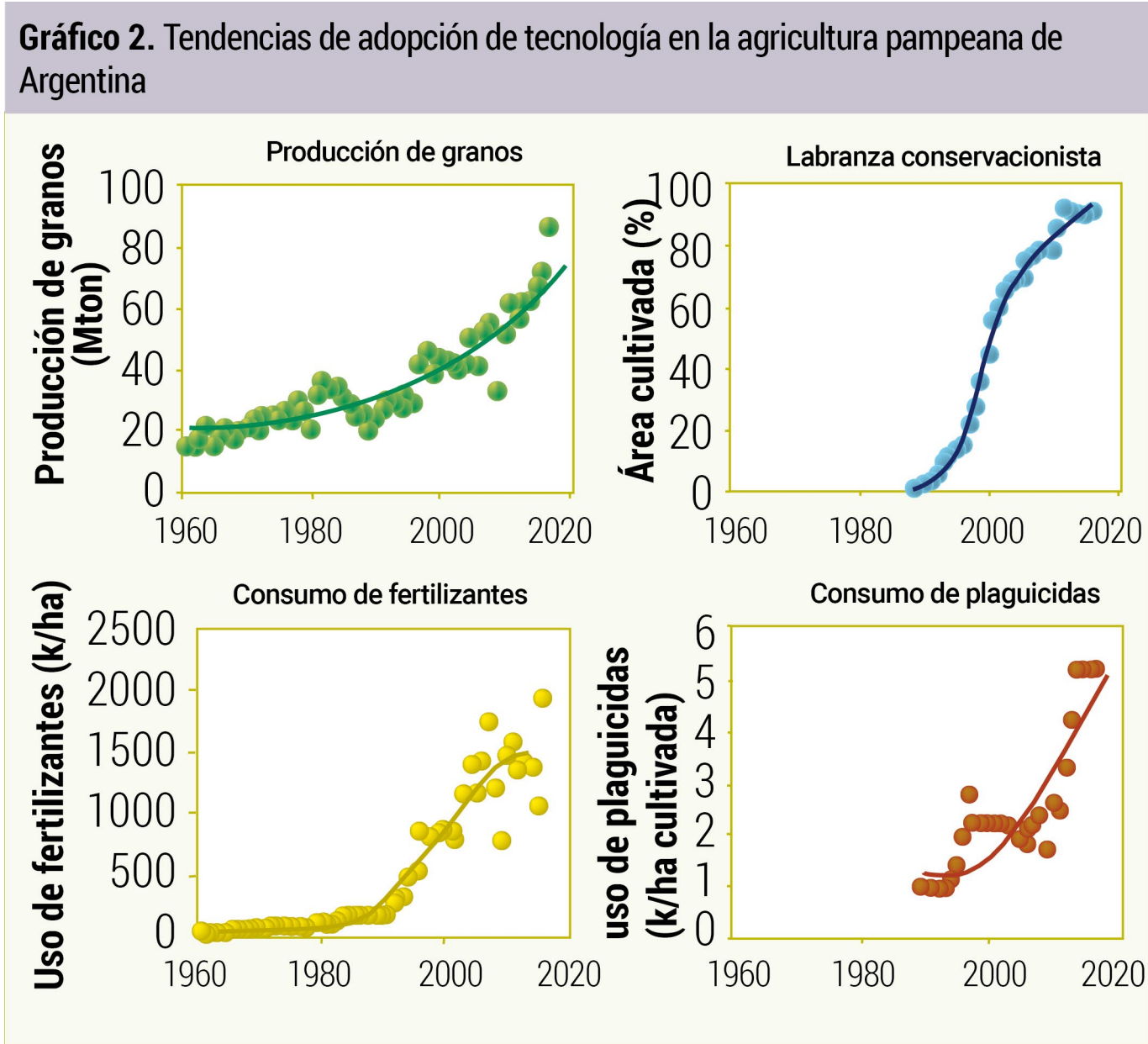
A partir de 1990 la soja dominó el paisaje por sobre los demás cultivos. Al comenzar la segunda década del siglo XXI el área de cultivos experimentó un estancamiento relativo que se prolonga hasta la actualidad (gráfico 1). Sin embargo, incluso así la producción bruta aumentó, porque la tierra fue sustituida por tecnología. Los rendimientos agrícolas por hectárea experimentaron un notable incremento que se refleja en

Gráfico 1. Tendencias en la superficie de pastizales/pasturas y cultivos anuales en Argentina entre 1960 y 2018



Fuente: datos de FAOSTAT, 2020

las estadísticas productivas (gráfico 2). Este fue el resultado de una eficaz combinación de tecnologías de insumos (siembra directa, fertilizantes, plaguicidas, maquinaria) y procesos (manejo de cultivos, suelos, pasturas) motorizada por una creciente modernización y profesionalización de la producción basada en novedades como la agricultura de precisión, el mapeo satelital de potreros, el uso de herramientas digitales y tecnologías de la información y la comunicación.

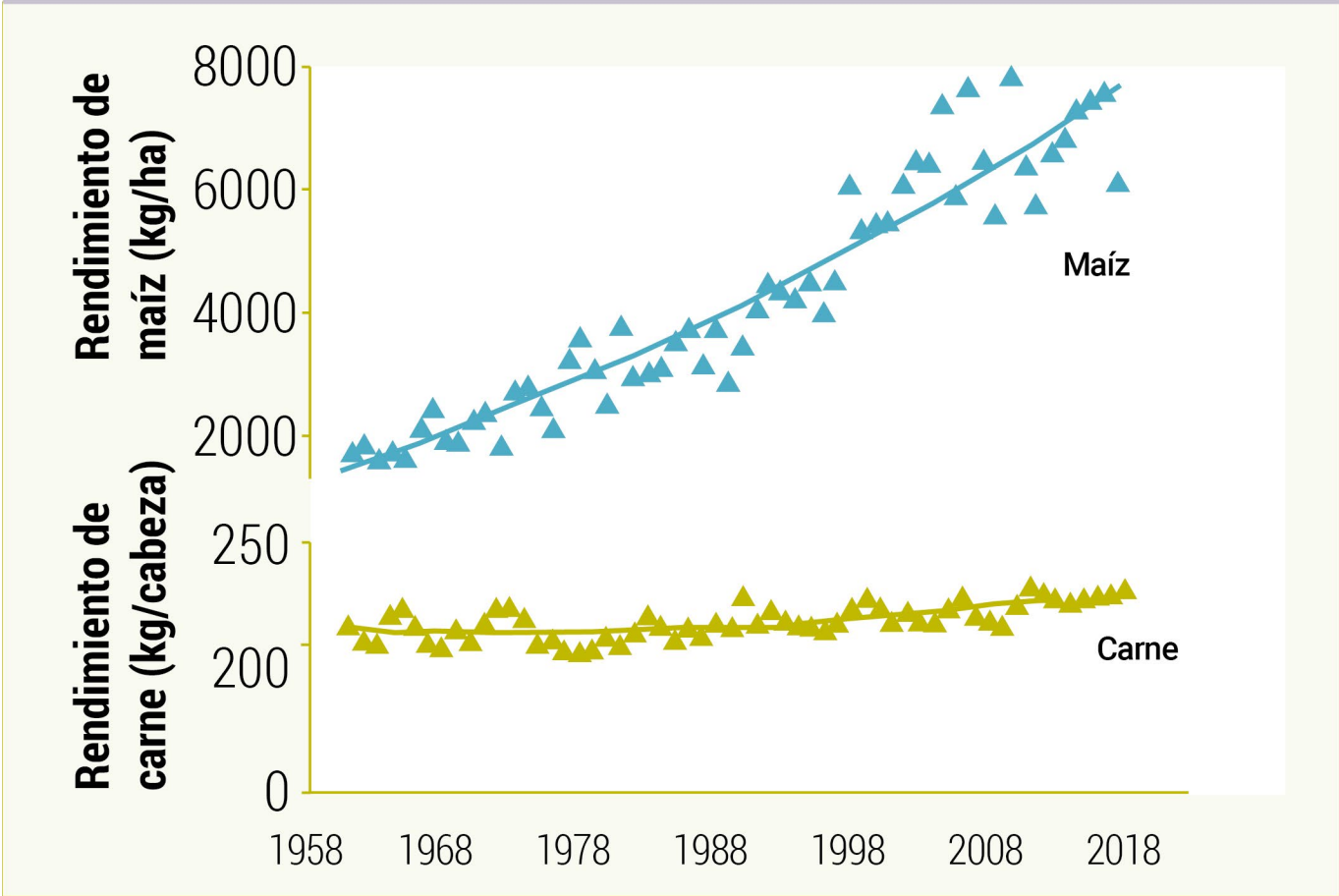


Fuente: Ricard et al. (2020) a partir de datos de la Secretaría de Agroindustria (2019); Nocelli (2018); FAOSTAT (2019).

Contra lo que podría esperarse, la superficie total de pastizales y pasturas a escala nacional no sufrió cambios de relevancia. Los avances logrados en la tecnología de cultivos no fueron acompañados por otros equivalentes en los sistemas de producción ganadera. Sus efectos son notables cuando se

comparan tendencias en los rendimientos unitarios. Mientras los rendimientos del maíz se multiplicaron por cinco en un período de 60 años, en ganadería pastoril intensiva se mantuvieron estables, con excepción de algunos pocos planteos tecnificados (gráfico 3).

Gráfico 3. Tendencia comparada de los rendimientos de grano de maíz y carne bovina en Argentina entre 1960 y 2018



Fuente: datos de FAOSTAT, 2020).

Carbono y agua: dos recursos clave

Desde comienzos del siglo XX, la expansión de forrajeras cultivadas y cultivos anuales introdujo cambios de magnitud en el ecosistema prístino del pastizal pampeano; como consecuencia, el stock y el flujo del carbono (y de otros minerales), además de los procesos hidrológicos, resultaron afectados.

Tanto los científicos como los asesores agronómicos y los productores rurales saben hoy que ambos recursos tienen una importancia vital para la producción agropecuaria. En pocos años se registraron avances cuantificables en el conocimiento

de ambos recursos y de la forma de administrarlos. Hoy, además, se sabe que el carbono y el agua están estrechamente vinculados con la provisión de servicios ecosistémicos (como la regulación del clima y del agua, la protección del suelo y el ciclado de los nutrientes), de hábitats y de biodiversidad.

La creciente intervención antrópica modificó el *stock* y el flujo de ambos recursos, aunque la implementación de prácticas conservacionistas como la siembra directa, y de tecnologías modernas, como el manejo sitio específico o el uso de cultivos de servicios, han moderado y revertido algunas tendencias negativas.

Contabilidad y balance

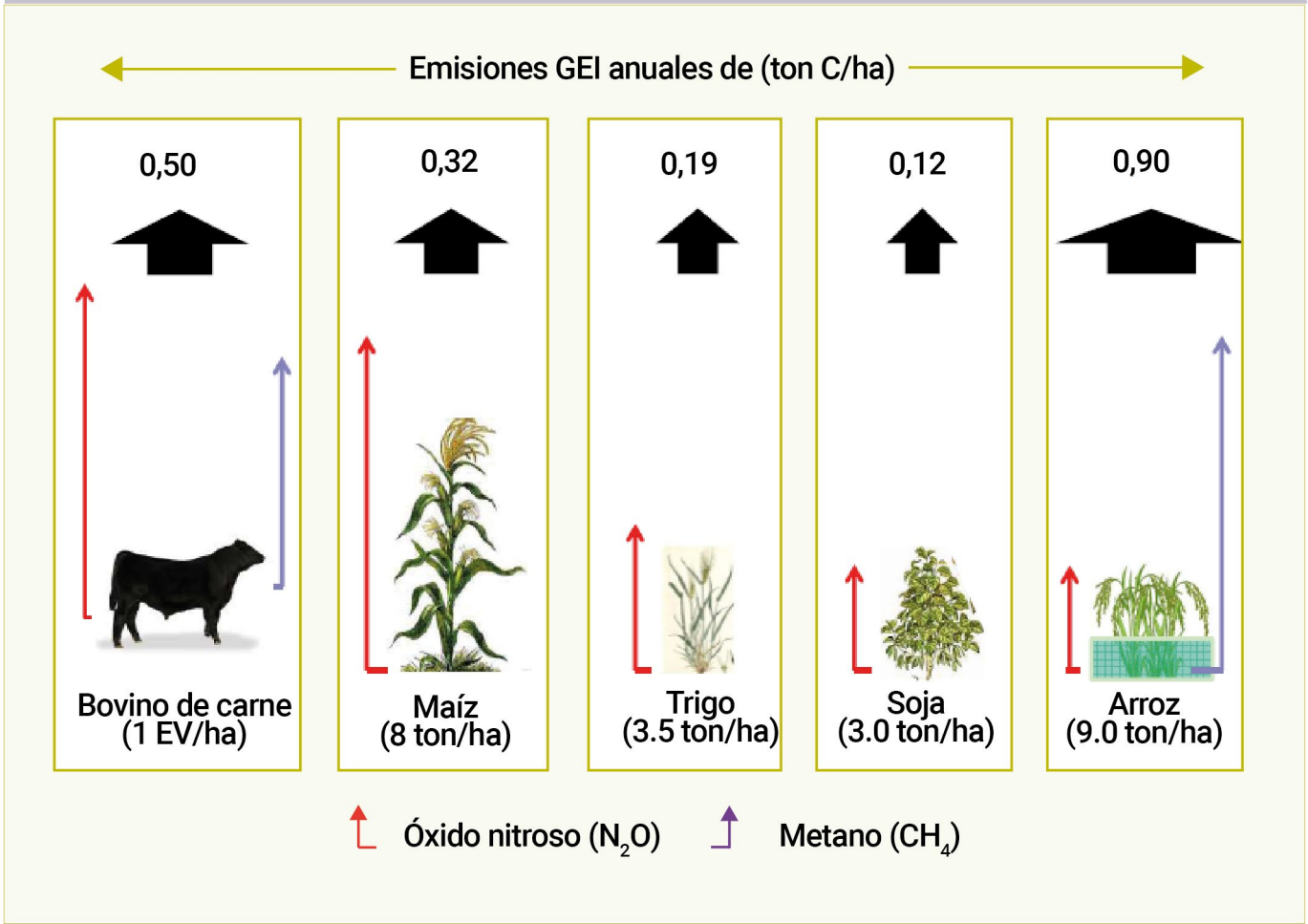
Son varios los componentes gaseosos calificados como *gases de efecto invernadero* (GEI), pero los principales en términos cuantitativos son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Si se le asigna un potencial de calentamiento atmosférico igual a 1 al más abundante de los gases (el CO_2), en términos comparativos el CH_4 y el N_2O tienen una potencia invernadero que es entre 21 y 310 veces mayor que la del CO_2 , respectivamente. Utilizando esos factores numéricos de equivalencia es posible generar un valor unificado que permite expresar la sumatoria de los tres gases en equivalentes CO_2 (eqCO_2). Asimismo, para simplificar, a través de otro factor se puede convertir y expresar esa equivalencia directamente en carbono (C). C es el factor que se utilizará de aquí en adelante por resultar más sencillo de entender.

Todas las actividades humanas y los sistemas de producción emiten C hacia la atmósfera: los sistemas industriales liberan esencialmente CO_2 proveniente de la “quemada” de combustibles fósiles, mientras que los sistemas agrícolas y gana-

deros emiten CH₄ y N₂O como resultado de procesos metabólicos y de la degradación de componentes bioquímicos que tiene lugar en plantas y animales. En el sector agropecuario, sólo una proporción menor de las emisiones tiene origen fósil: por ejemplo, aquella proveniente de los combustibles utilizados en labores agrícolas o en procesos propios de cada actividad.

Con fines meramente ilustrativos y comparativos, en la figura 1 se presentan algunos valores de emisión de C por hectárea en ganadería de carne y en algunos cultivos anuales como maíz, trigo, soja y arroz, comunes en nuestros sistemas de producción. Estos números representan valores aproximados y están sujetos a variaciones según los sistemas y métodos de producción utilizados. La ganadería (con una carga de un novillo por hectárea) tiene un potencial de emisión de

Figura 1. Estimación comparada de emisiones de gases de efecto invernadero (óxido nitroso y metano) en distintas actividades productivas. Debajo de las figura, un ejemplo de la carga animal y los rendimientos por hectárea de cada cultivo



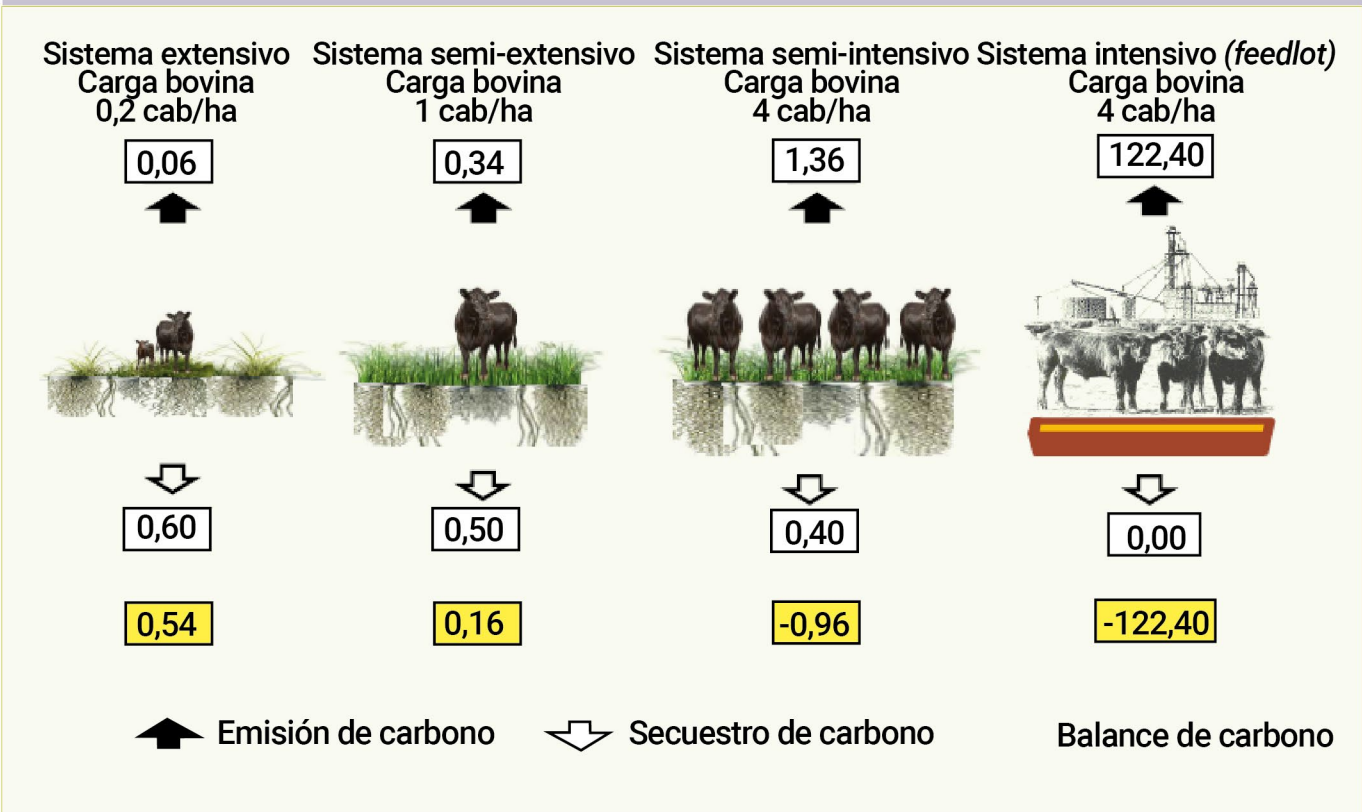
C que supera a la mayoría de los cultivos habituales. El CH_4 liberado como emisión entérica (digestiva) y el N_2O liberado de heces y orina explican esa diferencia. Solo un maíz de rendimiento medio a alto, fertilizado con nitrógeno (y que, por lo tanto, emite N_2O), se aproximaría a la emisión ganadera; el trigo y la soja aparecen con valores sustancialmente más bajos. No obstante, una hectárea de arroz cultivada en suelo inundado puede emitir más C que la hectárea ganadera. Esto es así, porque el suelo inundado se comporta como un humedal, que tiene un elevado potencial para producir y liberar cantidades significativas de CH_4 , situación que no se replica en cultivos en secano. En el presente ejemplo, las emisiones de C del arroz prácticamente duplican a las del ganado.

Sin embargo, la emisión de C es una parte de la historia. La otra parte es su secuestro. La diferencia entre ambas (secuestro - emisión) genera el balance de C, que debe ser abordado, esencialmente, como un cálculo contable.

Las plantas tienen capacidad para capturar C por fotosíntesis y acumularlo tanto en la biomasa aérea y subterránea, como en el suelo. La fracción más lábil es la que se retiene en la biomasa aérea, que está expuesta a perturbaciones como el pastoreo, el fuego, las sequías, las heladas, etcétera. El carbono de la biomasa subterránea es más estable, aunque se encuentra sujeto a pérdidas respiratorias realizadas por organismos autótrofos y heterótrofos. Una parte del C que no se elimina por respiración es mineralizado e incorporado al *stock* de carbono orgánico del suelo (COS). En los ecosistemas agropecuarios, los biomas leñosos son los que tienen mayor capacidad de acumular C en esas tres fracciones, seguidos en grado variable por pastizales y pasturas. El potencial de acumulación de COS está vinculado a la sucesión ecológica: un campo agrícola o un pastizal convertido en tierra forestal tiene un alto potencial para acumular C como COS, pero si esa sucesión se invierte, la pérdida es significativa.

La captura y el secuestro de C en tierras de pastoreo pueden ser potencialmente importantes para mitigar parte de las emisiones del ganado, aunque eso depende de la densidad animal. Con una carga baja, un sistema ganadero posiblemente genere un balance de C positivo y un crédito de C. Pero a medida que la densidad de animales por hectárea se incrementa, el balance tiende a hacerse más negativo (figura 2). Un sistema ganadero pastoril semi intensivo, de alta carga animal, puede generar un balance negativo de C que no se verá compensado por el secuestro de las pasturas. Como es previsible, los sistemas más intensivos en confinamiento (*feed lot*) son los que generan las mayores pérdidas de C sin compensación, ya que las hectáreas afectadas a ese sistema no pueden capturar C *in situ* por carecer de pasturas que realicen fotosíntesis. En el ejemplo, un sistema intensivo que soporta más de 350 cabezas por hectárea tendría una pérdida de C por emisiones del ganado que superarían en más de 300 veces las emisiones de un sistema pastoril extensivo con baja carga.

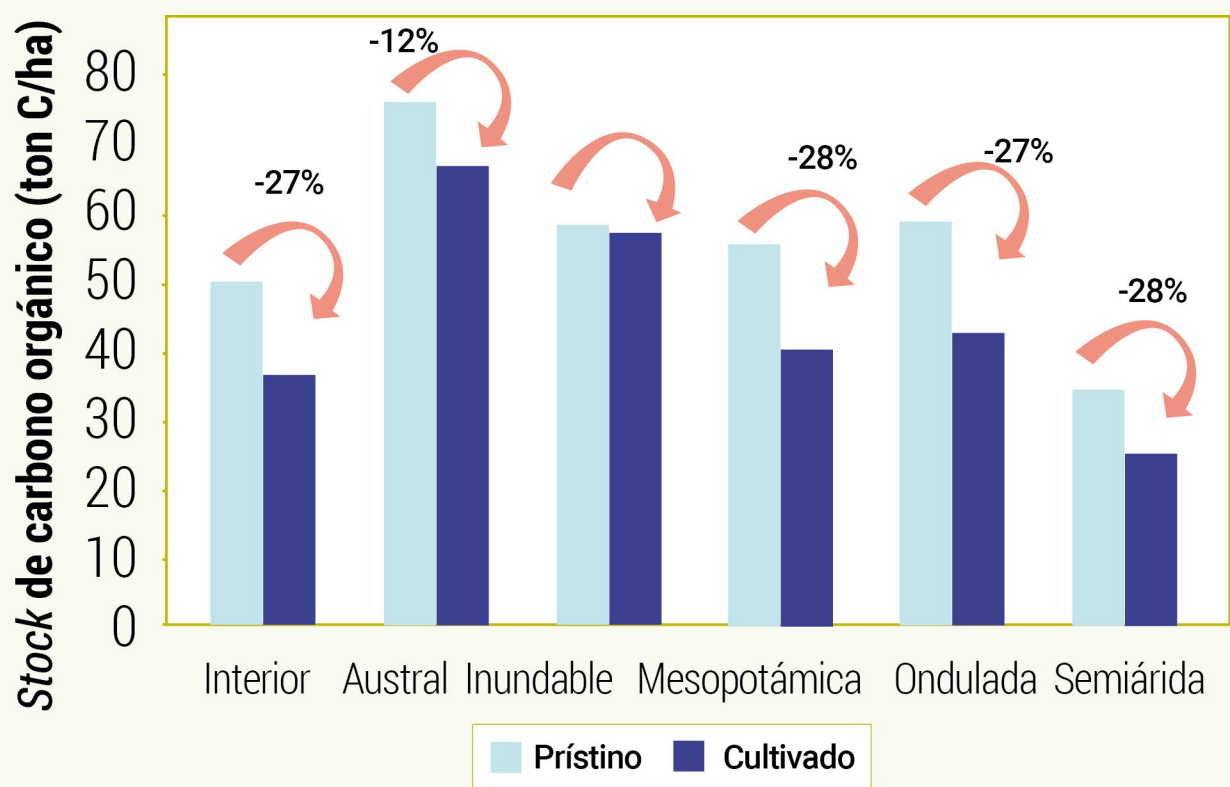
Figura 2. Estimación aproximada de emisión, secuestro y balance de carbono (ton/ha/año) en cuatro sistemas de producción bovina con distinto nivel de intensificación. Cuadros en amarillo: balance de carbono.



Pérdidas y ganancias

El avance de los cultivos anuales en la pradera pampeana acarrió una caída significativa del *stock* de COS, tal como indican Berhongaray *et al.* (2013). Estos autores indican que las pérdidas fueron mayores durante los primeros años de agricultura, especialmente en las zonas húmedas y ricas en COS, y menores en las zonas subhúmedas y semiáridas, que poseían *stocks* más bajos (gráfico 4). Las pérdidas de C como CO₂ fueron causadas por la oxidación de la materia orgánica del suelo a raíz del uso creciente de labranzas convencionales, de la pérdida de suelo por erosión y de la insuficiente incorporación de residuos de cosecha. En las últimas décadas, la adopción de labores conservacionistas y de buenas prácticas agronómicas permitieron atenuar –e incluso revertir– esas pérdidas. Las crecientes tendencias pluviométricas, la incorporación de la siembra directa y la introducción de cultivos con mayor producción de biomasa y rendimiento facilitaron algunos cambios de ten-

Gráfico 4. Pérdida estimada de carbono orgánico en suelos de distintas zonas climáticas de la Pampa argentina respecto a su condición prístina

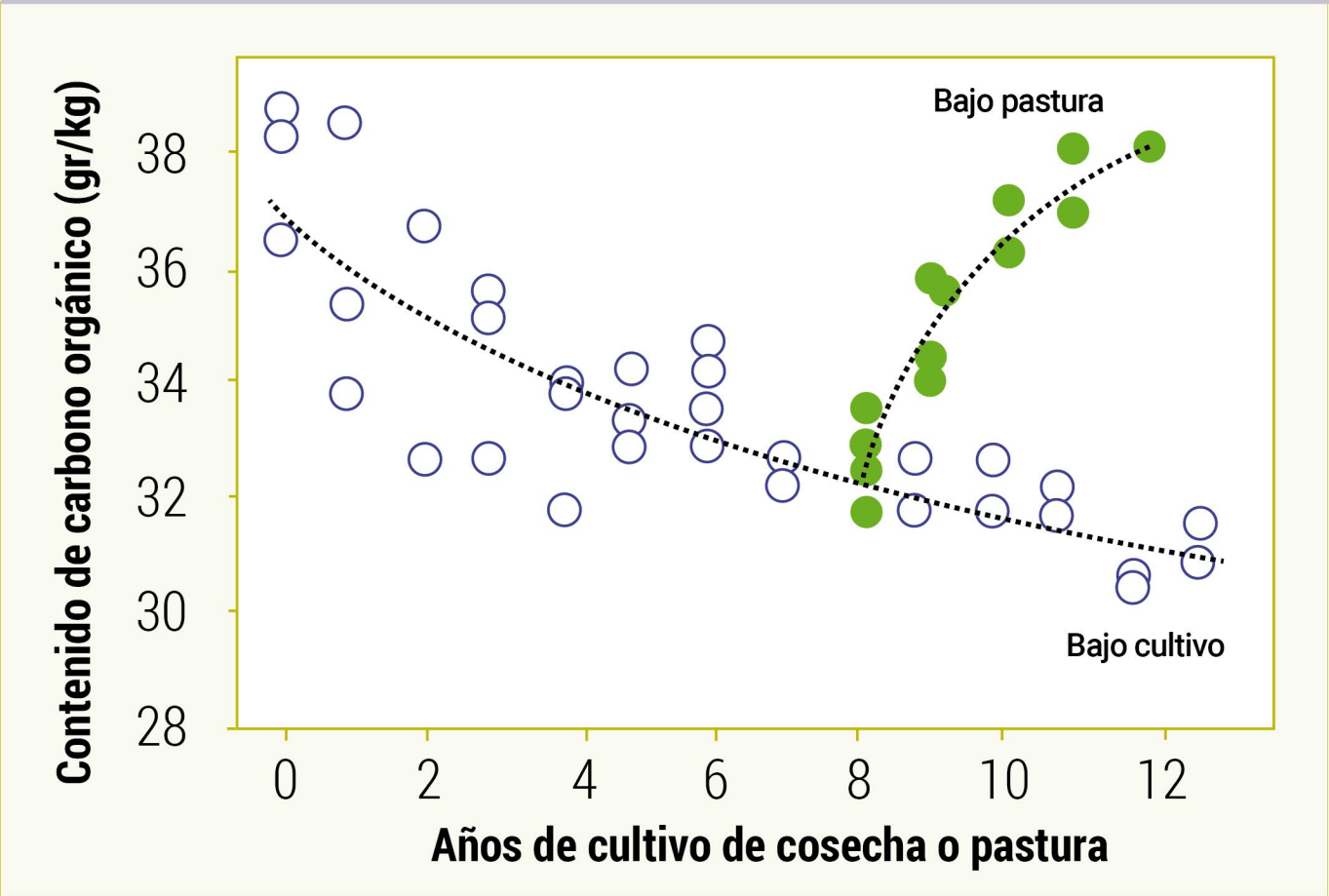


Fuente: Berhongaray *et al.*, 2013

dencia, a pesar de haber tenido lugar una pérdida gradual pero persistente de pasturas perennes en la región pampeana. La pérdida del stock de C alcanzó alrededor del 28% en casi toda la región pampeana; sin embargo, fue menor en la denominada *pampa inundable* (cuenca del río Salado), un ecosistema ganadero con fuerte presencia de pastizales naturales (muchos de ellos, mejorados) y escasez de cultivos agrícolas.

La pérdida de COS puede ser revertida a través del reemplazo de cultivos agrícolas por pasturas perennes a base de gramíneas. Datos experimentales de Studdert *et al.* (1997) demostraron que los contenidos de COS aumentaron significativamente a los pocos años de haber reemplazado los cultivos anuales por pasturas perennes (gráfico 5). En el largo plazo, la rotación sistemática de cultivos anuales y pasturas perennes permitiría sostener satisfactoriamente los niveles de COS, mientras que la fertilización con nitrógeno y otros minerales reforzarían ese proceso.

Gráfico 5. Evolución del contenido de carbono orgánico en el suelo bajo agricultura y en respuesta a la inclusión de una pastura perenne a base de gramíneas

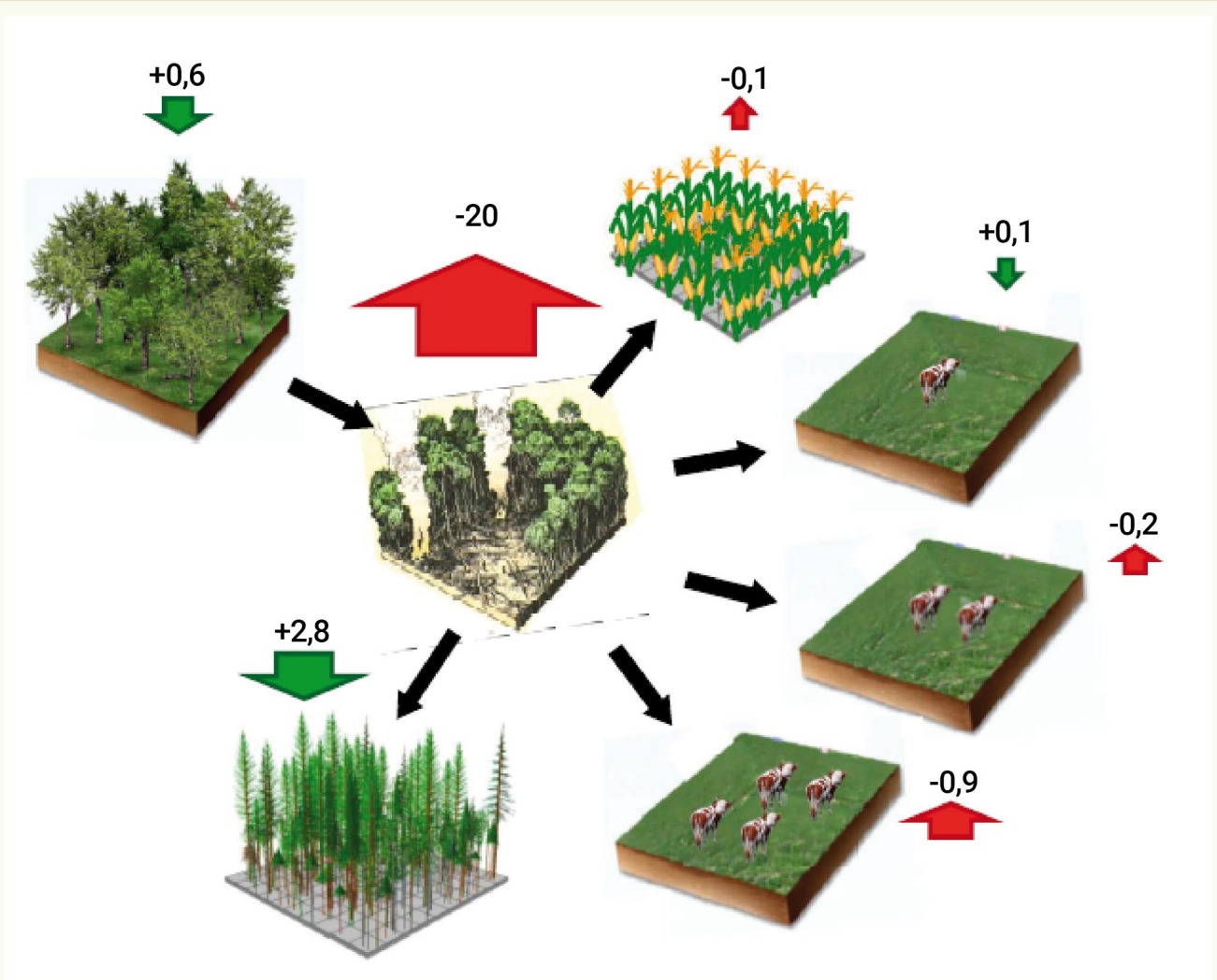


Fuente: adaptado de Studdert, Echeverría y Casanovas, 1997.

Esta capacidad potencial que tienen los suelos agrícolas de recuperar carbono a través de la rotación planificada con pasturas perennes puede ayudar convertir un balance de carbono negativo en uno positivo en poco tiempo.

Una consideración particular merece el balance de carbono por conversión de tierras en ecosistemas subtropicales leñosos como los de la región chaqueña argentina. En general, el bosque maduro forestal/arbustivo de esa región acredita como activo un elevado *stock* de C en biomasa y suelo, aunque si se encuentra estabilizado, su capacidad de secuestro es relativamente modesta. Esa condición puede sufrir modificaciones profundas cuando se decide deforestar y convertir esas tierras en campos de pastoreo, campos agrícolas o, eventualmente, en plantaciones forestales (figura 3). La dinámica del

Figura 3. Estimación orientativa del balance de carbono (ton C/ha/año) en campos de la región chaqueña que deforestan el monte nativo y exploran distintas opciones productivas.



carbono y otras variables funcionales del ecosistema (como el proceso hidrológico) sufren alteraciones: en primer lugar, al deforestar se produce un pulso muy fuerte de emisión de C por extracción y eventual quema de biomasa aérea, además de otras pérdidas asociadas a residuos vegetales y al suelo. Este cambio reduce drásticamente el *stock* de carbono original del ecosistema leñoso, tanto en biomasa como en COS. En segundo lugar, los flujos de ganancia o pérdida de C (o sea, el balance de C) dependerán de las actividades a desarrollar. Solamente dos de ellas podrían producir más ganancias que pérdidas de carbono: la ganadería extensiva con pasturas que capturen más C del que emite el ganado, o la plantación forestal. Una tercera opción sería la sucesión secundaria (renovales) que puede ocurrir en tierras deforestadas y roladas, ya que el crecimiento de renovales supone una significativa ganancia anual de C.

Tal como se muestra en la figura 3, las variantes agrícolas y ganaderas con intensificación creciente pueden experimentar anualmente más pérdidas que ganancias de carbono. La tendencia que siga el balance de C dependerá de las decisiones que se tomen en el mediano y corto plazo.

El proceso hidrológico

Siempre que tiene lugar una expansión de cultivos anuales a expensas de cultivos perennes se produce un aumento del escurrimiento del agua de lluvia y una reducción significativa de la evapotranspiración (figura 4).

No está del todo claro el modo en que la cobertura afecta a la infiltración del agua en el suelo. El ciclo de vegetación más corto de los cultivos anuales en relación con las especies perennes determina una menor evapotranspiración y remoción, y una mayor permanencia del agua infiltrada debajo de la superficie. La acumulación de agua no removida provoca un as-

censo del nivel freático que, en situaciones extremas, puede anegar los suelos, deteriorar el piso para las labores agrícolas, y provocar, incluso, un ascenso de sales diluidas en el agua con secuelas indeseables de salinización y alcalinización. Es habitual que la expansión agrícola en la pradera pampeana provoque episodios de inundación y anegamiento por ascenso freático y por lluvias. Este fenómeno es más evidente en paisajes llanos con escasa capacidad de drenaje.

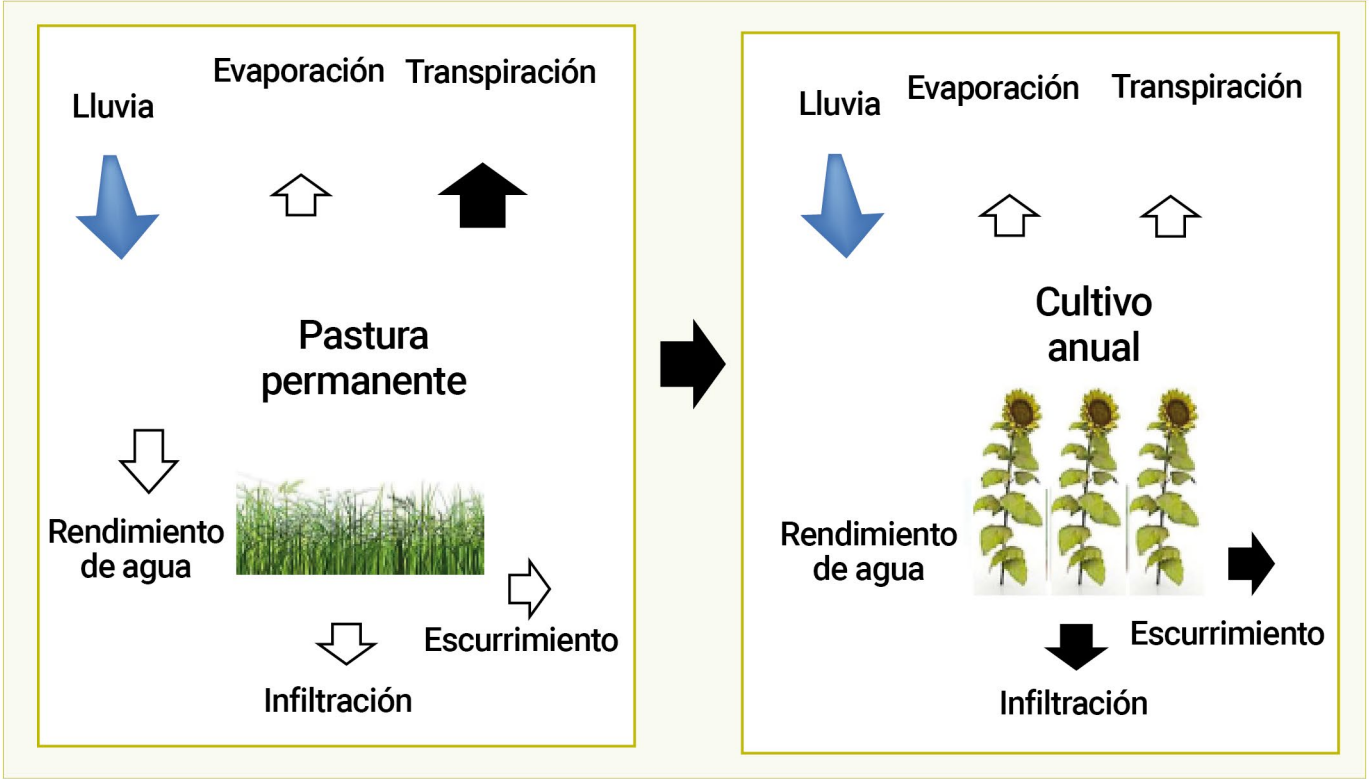
Una pregunta relevante es si resulta posible modular los flujos de agua en un ecosistema. En alguna medida, sí; aunque por la dimensión escalar del problema esa posibilidad escapa a la decisión individual o solitaria de cada productor. La escala operativa para producir cambios es el ecosistema o la región, y está asociada a estrategias colectivas del sector rural: es necesario operar sobre la configuración del ecosistema y del paisaje.

Diferentes cultivos y actividades productivas tienen distinto potencial para regular los flujos de agua hacia la atmósfera (evapotranspiración), la superficie (escurrimiento) o el subsuelo (infiltración y recarga de napas). Así como el cultivo de trigo tiene un bajo potencial de evapotranspiración y puede facilitar el ascenso freático, un cultivo perenne de raíces profundas como la alfalfa o una plantación forestal, pueden mantener un nivel freático alejado de la superficie debido a que posee un potencial de evapotranspiración moderado o alto. De esta manera, la combinación de actividades con diferente potencial para regular los flujos de agua puede desempeñar un importante rol a la hora de manipular la hidrología del ecosistema.

El impacto freático de la configuración del ecosistema fue ilustrado por Noretto *et al.* (2015) en una evaluación de largo plazo (1974-2008) que incluyó modelación hidrológica y mediciones de campo. Los autores encontraron que el nivel freático acompañó la tendencia de las lluvias, pero la profundidad de la napa varió según los usos de la tierra: en un monocul-

tivo de soja se mantuvo cercano a la superficie, pero tendió a descender cuando se introdujeron dos cultivos en un año agrícola. El mayor descenso se logró cuando la rotación incluyó pasturas perennes. Este es un buen ejemplo que evidencia el modo en que la hidrología regional puede ser manipulada configurando las actividades del ecosistema.

Figura 4. Reemplazo de pastizales y pasturas perennes por cultivos anuales y su efecto sobre la partición del agua en el ecosistema



Fuente: Viglizzo et al., 2016

¿Son intensivos los sistemas mixtos argentinos?

Una manera de responder a este interrogante es evaluar dónde estaba el país 30 o 40 años atrás y dónde se encuentra ahora. O sea, comparar situaciones de cambio a través de un eje temporal. Pero quizás sea más interesante hacer ese ejercicio dentro de un plano espacial ¿Cuán intensivos son los sistemas de producción argentinos comparados con los existentes en otras partes del mundo?

Para explorar esta última opción es sensato recurrir a bases de datos globales que, con una metodología de abordaje homogénea y a través de indicadores específicos, ponderan la si-

tuación de distintos países. Utilizando la rica base de datos de la FAO es posible intentar ese ejercicio comparativo. Para ello, con alguna arbitrariedad en la elección, es posible comparar el “caso argentino” con los demás integrantes del Mercosur (Brasil, Paraguay, Uruguay) y con países de otros continentes que poseen un sector agropecuario relevante, como Australia, China, EE.UU., Francia, India, Nueva Zelanda y Sudáfrica.

Densidad bovina, agricultura y deforestación

Si se compara la densidad de bovinos entre los citados países, puede apreciarse la posición relativa de la Argentina (gráfico 6). Una interpretación ligera de los datos podría llevar a la conclusión de que la ganadería argentina se ubica dentro del primer tercio, al presentar una densidad de bovinos más baja que la de la mayoría de los países, entre ellos, los de la región Mercosur. Puede haber algo de realidad en estas cifras, pero también es posible generar una interpretación sesgada. La Argentina posee, en proporción, mayor cantidad de tierras áridas y semiáridas con baja receptividad bovina respecto de otros países; otro tanto ocurre en países como Australia, Sudáfrica y EE.UU.

No es posible emitir una conclusión definitiva respecto a estos datos, pero si se vinculan con otros datos disponibles se puede inferir que, en promedio, la ganadería bovina argentina tendría características semi intensivas (gráfico 3).

Sin embargo, la producción agrícola y ganadera no puede estar desvinculada de lo que ocurre con los ecosistemas leñosos nativos (bosques y arbustales). La Argentina aún pertenece al grupo de países “deforestadores”. La deforestación es atribuida en primer lugar al avance de las tierras de pastoreo y de cultivo sobre tierras de leñosas nativas. Si tales cambios se expresaran como un porcentaje de esas tierras, en términos comparativos, Paraguay se ubicaría en la posición más

desventajosa (gráfico 7a), mientras que la Argentina ocuparía un lugar intermedio. Para convertir esos cambios en balances de C, la comparación exige confrontar la deforestación de tierras nativas con la forestación o reforestación. Una tasa de forestación/reforestación mayor que la deforestación de nativas puede generar un balance de carbono positivo, mientras que lo contrario ocurrirá si esa relación se invierte. Este no es un tema menor en momentos en que los acuerdos internacionales respecto del calentamiento global exigen a los países firmantes revertir su matriz de emisión de GEI en las próximas décadas.

Si se confrontan anualmente las ganancias y pérdidas de superficie boscosa, Uruguay (1,1% vs. -0,17%), Sudáfrica (0,68% vs -0,66%) y Nueva Zelanda (0,46% vs. -12%) muestran una posición ventajosa respecto de los demás países (gráfico 7b).

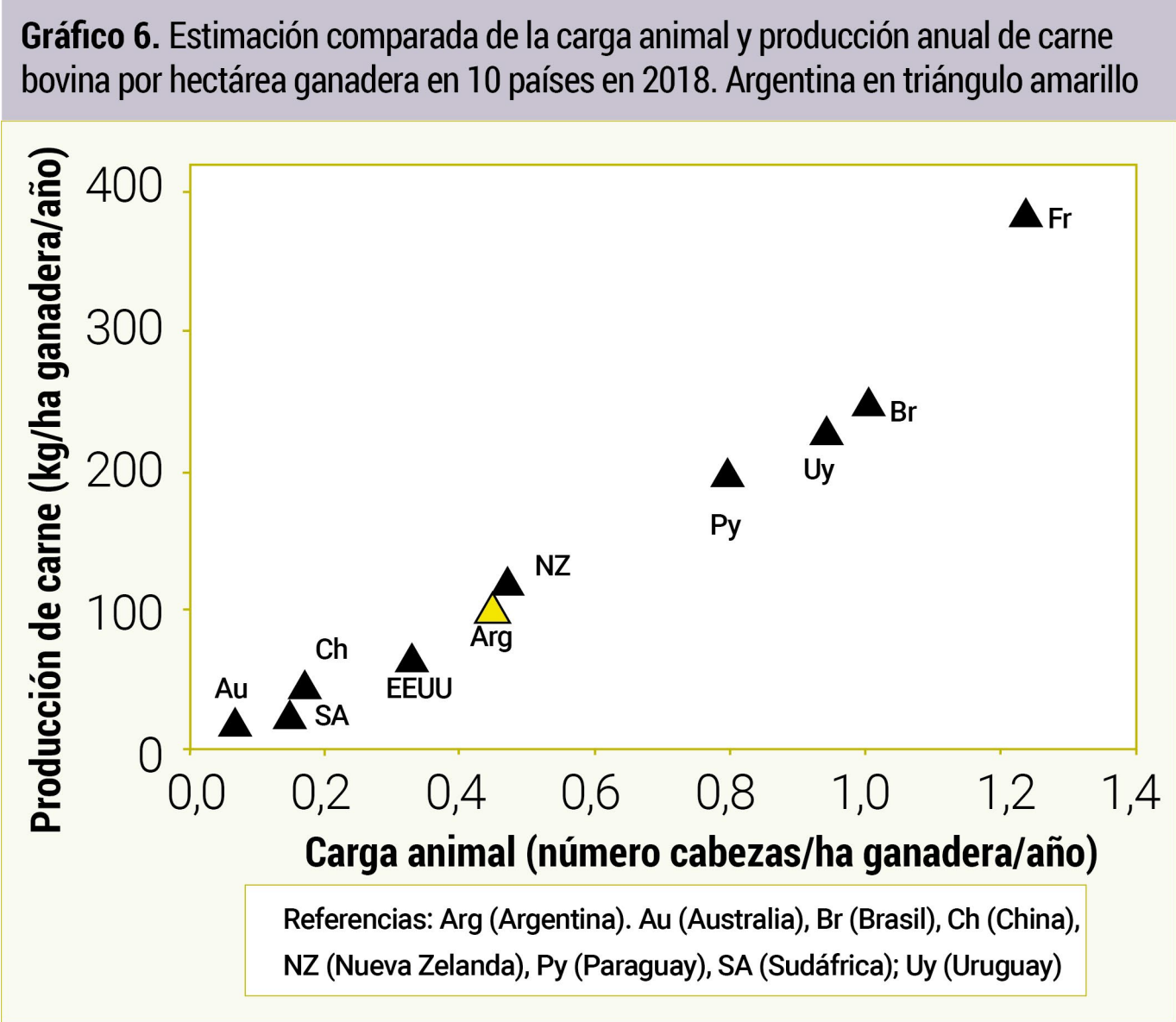
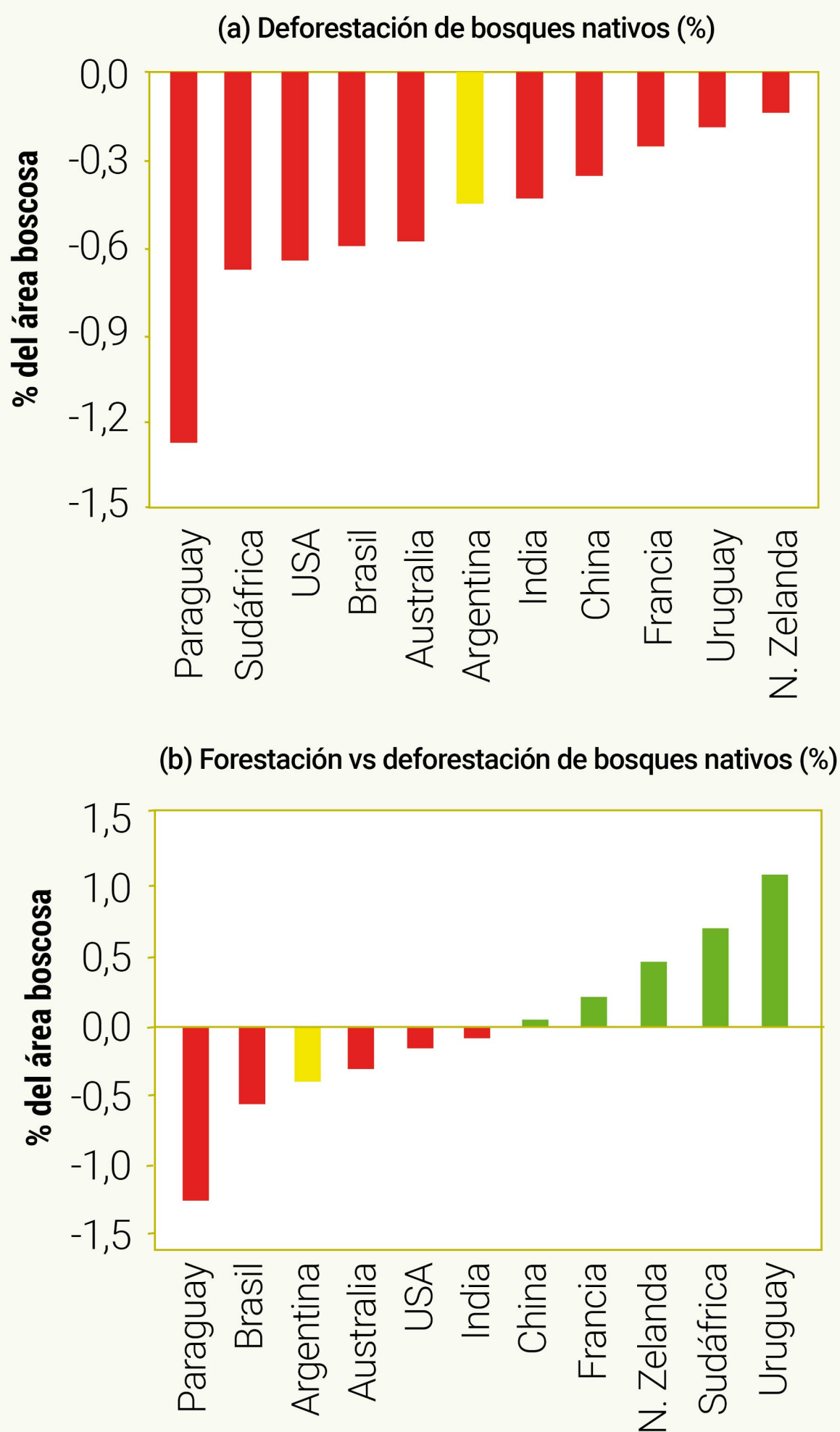


Gráfico 7. Diagrama comparado del área boscosa en 10 países: (a) pérdida de bosque nativo en 2018 (% perdido respecto a las existencias del año 2010) y (b) diferencia porcentual entre el área de bosques cultivados y el área deforestada de bosques nativos en el período 2015-2018. Argentina en color amarillo



Fuente: Global Forest Watch, 2020

En esa comparación, la Argentina se encuentra dentro del grupo de países que pierde más área boscosa de la que gana, aunque, nuevamente, en una posición intermedia. Pese a ello, las tasas de deforestación de especies nativas en la Argentina han declinado sustancialmente en la última década respecto de las anteriores (*Global Forest Watch*, 2020), lo que constituye una señal positiva. Sin embargo, el problema de las emisiones por pérdida de bosque nativo es una parte de la historia, la otra parte está asociada a la destrucción del hábitat, a la pérdida de biodiversidad local, al impacto negativo sobre las comunidades originarias y al deterioro en la provisión de servicios ecosistémicos. Estos temas crecen en importancia y ya no pueden ser ignorados.

Indicadores de sustentabilidad ambiental

Estadísticas de la FAO y de otras fuentes evidencian notables contrastes entre los países comparados. Esos números ofrecen una medida del nivel relativo de intensificación de la producción agropecuaria argentina respecto de otros países que cuentan con una consistente economía agropecuaria.

Si se usan datos del IPCC (2006), Mekonnen y Hoekstra (2011), Borrelli *et al.* (2017) y FAOSTAT (2020), los indicadores analizados pueden ser divididos en dos grupos y cuadros que muestran cosas diferentes. A partir de datos obtenidos en 2018, el cuadro 1 presenta una estimación comparada de la huella hídrica, la pérdida de suelos por erosión y el consumo de fertilizantes y plaguicidas en el sector agropecuario argentino y en otros 10 países. En el cuadro 2 se hace lo propio con la contaminación debida a la emisión de GEI y a las excreciones de nitrógeno bovino.

En ambos cuadros se advierte un notable contraste. En el cuadro 1 se aprecia que la huella hídrica estimada para la Argentina es sustancialmente baja en relación con la de otros

Cuadro 1. Estimación comparada huella hídrica, pérdida de suelos por erosión, consumo defertilizantes y consumo de plaguicidas en el sector agropecuario argentino y en 10 países

	Huella Hídrica (litros agua/ha)	Erosión de suelos (ton sedimentos/ ha/año)	Consumo de fertilizantes (kg/ha/año)	Consumo de plaguicidas (kg/ha/año)
Argentina	1,91	2,5	38,9	5,17
Australia	358,82	1,5	44,17	0,75
Brasil	0,53	27	181,8	4,57
China	0,99	16	643,9	13,06
EEUU	0,53	7	131,2	2,59
Francia	43,64	2	136,9	3,9
India	2,13	2,06	163,7	0,33
N. Zelanda	488,59	1,3	285,8	7,89
Paraguay	16	13	83,4	8,28
Sudáfrica	12,12	15	61,9	2,08
Uruguay	209,64	5	192,6	5,74

Fuentes de datos: Mekonnen y Hoekstra (2011), Borrelli et al. (2017); FAOSTAT (2020).

países. Conocida la elevada huella hídrica que posee la producción de carne bovina, no sorprende que tres países típicamente ganaderos como Australia, Nueva Zelanda y Uruguay presenten valores extremadamente elevados. Este indicador tiende a reducirse sustancialmente en los casos que muestran una participación elevada de cultivos de secano, que tienen un peso relativo alto en países como la Argentina. Del mismo modo, es favorable para el país el indicador de erosión de suelos, en claro contraste con países como Brasil y China. La alta tasa de deforestación en el país vecino dispara procesos erosivos intensos, comunes en ecosistemas tropicales que han sido deforestados y convertidos en tierras de pastoreo o de cultivo. En China, es bajo el nivel de adopción de labranzas conservacionistas. Es igualmente bajo el consumo de fertilizantes en la Argentina, considerado por lo general un indicador indirecto de la contaminación por nutrientes. La contrapartida de este indicador (el más bajo en la comparación) es señal inequívoca de que, con seguridad, nuestro país ha descapitalizado el capital mineral de sus suelos como resultado de muchos años de extracción con nula o baja reposición de nutrientes.

Algo más preocupante resulta el indicador de consumo de plaguicidas en el país: a pesar de encontrarse a una distancia considerable de los valores extremos de China, sus valores son bastante más elevados que los de Australia, la India, Francia o Sudáfrica.

Si bien los indicadores de emisión de gases de efecto invernadero y de excreción de nitrógeno por parte del ganado bovino de los países comparados difieren mucho en sus valores extremos (cuadro 2), podemos inferir que la Argentina evidencia en todos los casos un comportamiento intermedio cercano a la media de los países.

Cuadro 2. Estimación comparada de contaminaciones por emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y excreción de nitrógeno (N) por el ganado bovino en Argentina y en 10 países

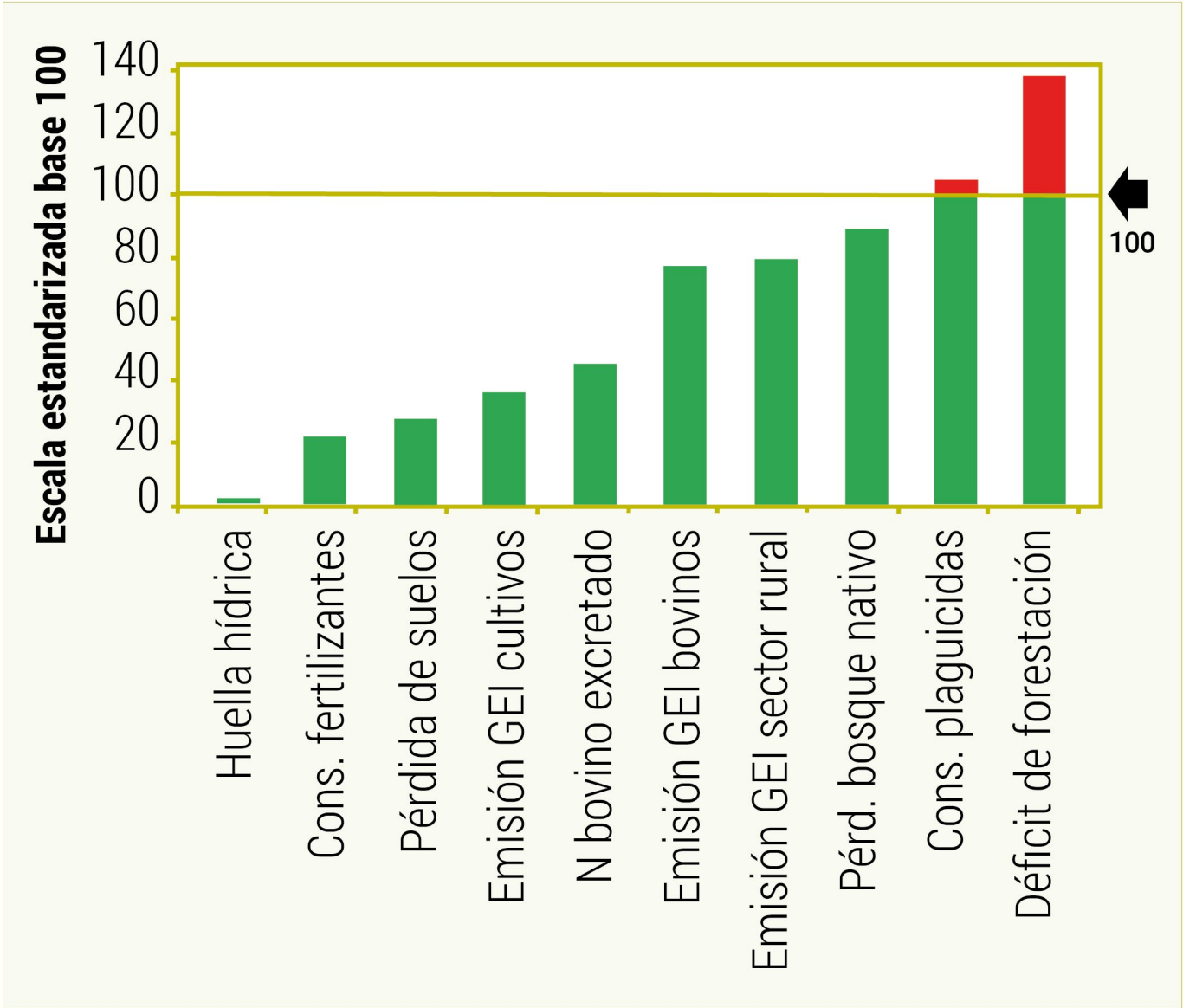
	Emisiones GEI sector rural (ton C/ha)	Emisiones GEI cultivos (ton C/ha cultivada)	Emisiones GEI ganado bovina (ton C/ha ga- nadera)	N excretado por bovinos (kg/ha)
Argentina	0,167	0,037	0,20	17,89
Australia	0,041	0,102	0,04	4,34
Brasil	0,334	0,021	0,46	40,6
China	0,106	0,364	0,07	6,87
EEUU	0,153	0,291	0,15	13,41
Francia	0,341	0,123	0,62	62,98
India	0,210	0,079	2,62	182,84
N. Zelanda	0,261	0,013	0,26	28,12
Paraguay	0,294	0,015	0,37	32,17
Sudáfrica	0,047	0,055	0,05	5,87
Uruguay	0,364	0,011	0,43	37,67

Fuentes de datos FAOSTAT (2020); IPCC (2006).

Al integrar estos 10 indicadores a través de un valor estandarizado igual a 100, que expresa la media de los 11 países comparados, es posible tener una idea de la ubicación relativa de la Argentina (gráfico 8). La fracción de las barras en color verde representa los valores que se encuentran por debajo de la media de los países comparados, mientras que la fracción en rojo representa situaciones en las cuales la Argentina excede a la media: consumo de plaguicidas y relación entre forestación y deforestación, lo cual indica que anualmente se

forestan menos hectáreas de las deforestadas. Un tercer indicador que se acerca al umbral 100 es la pérdida de bosques nativos por deforestación, aspecto en el cual es claramente necesario mejorar si tenemos en cuenta los compromisos internacionales que nuestros gobiernos han firmado.

Gráfico 8. Comportamiento ambiental comparado del sector agropecuario argentino en relación a la media de 10 países. Base = 100 es la media estandarizada de las variables analizadas. La fracción en rojo representa las variables en las cuales Argentina excede a la media de los países comparados.



Fuente de datos: Mekonnen y Hoekstra (2011), Borrelli et al. (2017); FAOSTAT (2020); Global Forest Watch (2020).

Conclusiones

Si aceptamos que los sistemas agrícolas y ganaderos más intensivos son los que generan los impactos más negativos sobre el ambiente y los recursos naturales, a partir de los da-

tos evaluados podemos inferir que los sistemas mixtos de la Argentina aún tienen, en términos relativos, un impacto ambiental relativamente bajo. De todos modos, es posible inferir que su nivel de intensificación oscila entre moderado y bajo si se considera el conjunto de indicadores evaluados. Acredita una huella hídrica muy baja, un bajo consumo de fertilizantes y un índice igualmente menor de erosión de suelos (entre los más bajos del mundo) debido a la eficaz incorporación de labranzas conservacionistas (siembra directa y labranza mínima). Las emisiones GEI de los cultivos de cosecha y la contaminación por nitrógeno de la ganadería bovina son también escasas, ya que se ubican por debajo de la mitad (< 50) del umbral 100.

Por las razones mencionadas, es posible argüir que la producción agropecuaria argentina presenta una dependencia de insumos relativamente baja y rendimientos agrícolas relativamente elevados. Esa *brecha* entre insumos y productos puede ser explicada por una eficiente incorporación de tecnología que nos coloca en una posición ventajosa respecto de otros países de matriz agropecuaria.

En tiempos en que la producción se encuentra fuertemente cuestionada por su supuesto impacto negativo sobre el calentamiento global y el ambiente, el hecho de demostrar que a partir de sistemas de baja o mediana intensificación es posible producir alimentos con eficiencia representa una ventaja estratégica que es necesario destacar y comunicar. Esta ventaja debería pesar en las negociaciones internacionales y en el comercio internacional de alimentos. Resta aún la tarea de resolver dos asignaturas y de hacerlo lo antes posible: una es la deforestación de bosques nativos, y la otra es el uso de plaguicidas, que evidencia un aumento a tasas crecientes en las últimas décadas. Ambas asignaturas son manejables y están sujetas a un mejoramiento significativo en poco tiempo sin resignar productividad.

Bibliografía

Andriulo, A. y Cordone, G. "Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda". En: Panigatti, J. L.; Marelli, H.; Buschiazzi, D.; Gil, R. (editores). *Siembra directa*, Primera edición, INTA y Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, pp 65-96. 1998.

Basualdo, M.; Huykman, N.; Volante, J. N.; Paruelo, J. M. y Piñeiro, G. "Lost forever? Ecosystem functional changes occurring after agricultural abandonment and forest recovery in the semiarid Chaco forests". En *Science of the Total Environment* 650: 1537–1546. 2019.

Bertram, N. y Chiacchiera, S. *Ascenso de napas en la región pampeana: ¿Consecuencia de los cambios en el uso de la tierra?* Argentina: INTA EEA Marcos Juárez. 2017. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_napas_mjz_13.pdf.

Berhongaray, G.; Álvarez, R.; de Paepe, J. L.; Caride, C.; Cantet, R. J. *Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas*. *Geoderma* 192: 97–110. 2013.

Borrelli, P.; Robinson, D. A.; Fleischer, L. R.; Lugato, E.; Ballabio, C.; Alewell, C., et al. "An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion". *Nature Communications* 8: 2013. DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7. 2017. www.nature.com/naturecommunications

FAOSTAT. Datos. 2020. <http://www.fao.org/faostat/es/>

Feldkamp, C. "La ganadería posible con la tecnología disponible". *Congreso Regional Zona Semiárida*. Santa Rosa (LP), p. 17-20. CREA. 2011.

Giberti, H.C. *Historia Económica de la Ganadería Argentina*. Buenos Aires: Raigal. 1954.

Global Forest Watch. GFW *Interactive map and Global Forest Watch Data*. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.175>

Guo, L. B. y Gifford, R. M. "Soil carbon stocks and land use change: A meta análisis". *Global Change Biology* 8: 345–360. 2002.

Hall, A. J.; Rebella, C. M.; Ghera, C. M. y Culot, J. P. "Field crop systems of the Pampas". In: Pearson CJ (ed.) *Ecosystems of the World, Field Crop Ecosystems*, 1st edition, pp. 413–450. Elsevier, Amsterdam. 1992.

IPCC. "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". In: *Reference Manual*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme (Eds. Eggleston HS, Buendia L.; Miwa K.; Ngara T.; Tanabe K. Vol. 4, Chapters 2–7, pp. 2.1–7.24. IGES, Japan. 2006.

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>

Jobbágy, E. G.; Nosoetto, M. D.; Santoni, C. S.; Baldi, G. "El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana". *Ecología Austral* 18: 305–322. 2008.

Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. Y. "The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products". En: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15: 1577–1600. Doi:10.5194/hess-15-1577-2011. 2011.

Nosoetto, M. D.; Páez, R.; Ballesteros, S. I.; Jobbágy, E. G. "Higher water-table levels and flooding risk under grain vs. livestock production systems in the sub-humid plains of the Pampas". En: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 206: 60–70. 2015.

Pincén, D.; Viglizzo, E. F.; Carreño, L. V.; Frank, F. C. "La relación soja-ecología- ambiente: entre el mito y la realidad". En: *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto tecnológico* (E. F. Viglizzo y E. G. Jobbágy, editores) ISBN: 978-987-1623-83-9. Ediciones INTA-IAI (Buenos Aires), p. 53-61. 2010.

Ricard, M. F., Berhongaray, G.; Viglizzo, E. F. "The Argentine Pampas: A Novel Ecosystem at the Crossroad". *Encyclopedia of the World's Biomes*. Elsevier, Amsterdam. 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12060-3>

Satorre, E. H. "Cambios tecnológicos en la agricultura actual. La transformación de la agricultura argentina. Oesterheld, M. (ed). *Ciencia Hoy*. 15, 24–31. 2005.

Soriano, A.; León, R. J.; Sala, O. E. et al. "Río de la Plata grassland". In: Couplant RT (ed.) *Ecosystems of the world, natural grasslands*, 1st ed., pp. 367–407. Elsevier, Amsterdam. 1991.

Viglizzo, E. F.; Frank, F. C.; Carreño, L. V.; Jobbágy, E. G.; Pereyra, H.; Clatt, J.; Pincén, D.; Ricard, F. M. "Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina". *Global Change Biology* 17: 959–973. 2011.

Viglizzo, E. F.; Jobbágy, E. G.; Ricard, M. F.; Paruelo, J. M. "Partition of some key regulating services in terrestrial ecosystems: Meta-analysis and review". *Science of the Total Environment* 562: 47–60. 2016.

Viglizzo, E. F.; Lértora, F. A.; Pordomingo, A. J.; Bernardos, J.; Roberto, Z. E. and Del Valle, H. "Ecological lessons and applications from one century of low intensity farming". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 81: 65-81. 2001.

Viglizzo, E. F.; Ricard, M. F.; Taboada, M. A.; Vázquez Amábile, G. "Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review". *Science of the Total Environment* 661, 531–542. 2019.

Villarino, S.; Studdert, G.; Baldassini, P.; Cendoya, M.; Ciuffoli, L.; Mastrángelo, M.; Piñeiro, G. "Deforestation impacts on soil organic carbon stocks in the Semiarid Chaco Region, Argentina". *Science of the Total Environment* 575. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.175>

Volante, J. N.; Mosciaro, M. J.; Alcaraz-Segura, D.; Vale, L. M.; Viglizzo, E. F.; Paruelo, J. M. Pascale Medina, C. y Zubillaga, M. "Dinámica del avance de la frontera agropecuaria y cambios funcionales en ecosistemas del noroeste de Argentina". En: *Suelos, Producción Agropecuario y Cambio Climático: Avances en la Argentina*. Taboada (Eds.). Edición Minagri/AAPA/AACS (Buenos Aires), pp. 344-366. 2014.

11

Políticas para lograr una intensificación ecológica en la agricultura



**Drs. Lucas A. Garibaldi, Néstor Pérez-Méndez,
Fernando E. Míguez y Dulce S. Gómez Carella**
Universidad Nacional de Río Negro.



En todo el mundo ha comenzado una búsqueda intensa de nuevos paradigmas que ayuden a corregir las fallas que evidencian los sistemas agrícolas actuales. Numerosos reclamos exigen una transición que nos conduzca desde la intensificación convencional hacia una ecológica; entre ellos se encuentran las demandas de los científicos, los consumidores, los encargados de formular políticas y los agricultores. En todos los casos, el objetivo es mantener o incrementar la productividad agrícola a largo plazo mediante un adecuado manejo de los servicios que provee la biodiversidad, reduciendo al mismo tiempo la dependencia de los cultivos respecto de los insumos sintéticos y de una expansión de la superficie cultivada. De este modo se pretende optimizar el uso de los recursos, aplicando los insumos en forma más precisa y razonable (aunque sin llegar necesariamente a un nivel “cero”, tal como ocurre, por ejemplo, en la agricultura orgánica), promoviendo los servicios ecosistémicos que ofrecen los organismos que se encuentran en el sistema (polinizadores, controladores de plagas, detritívoros, etcétera).

Antes que un objetivo en sí mismo, la intensificación ecológica busca constituirse en un proceso necesario para alcanzar los objetivos más amplios de la agroecología: la seguridad alimentaria y la sostenibilidad. Algunos países ya han comenzado a implementar medidas en este sentido, pero son escasas o inadecuadas y varían notablemente entre regiones.

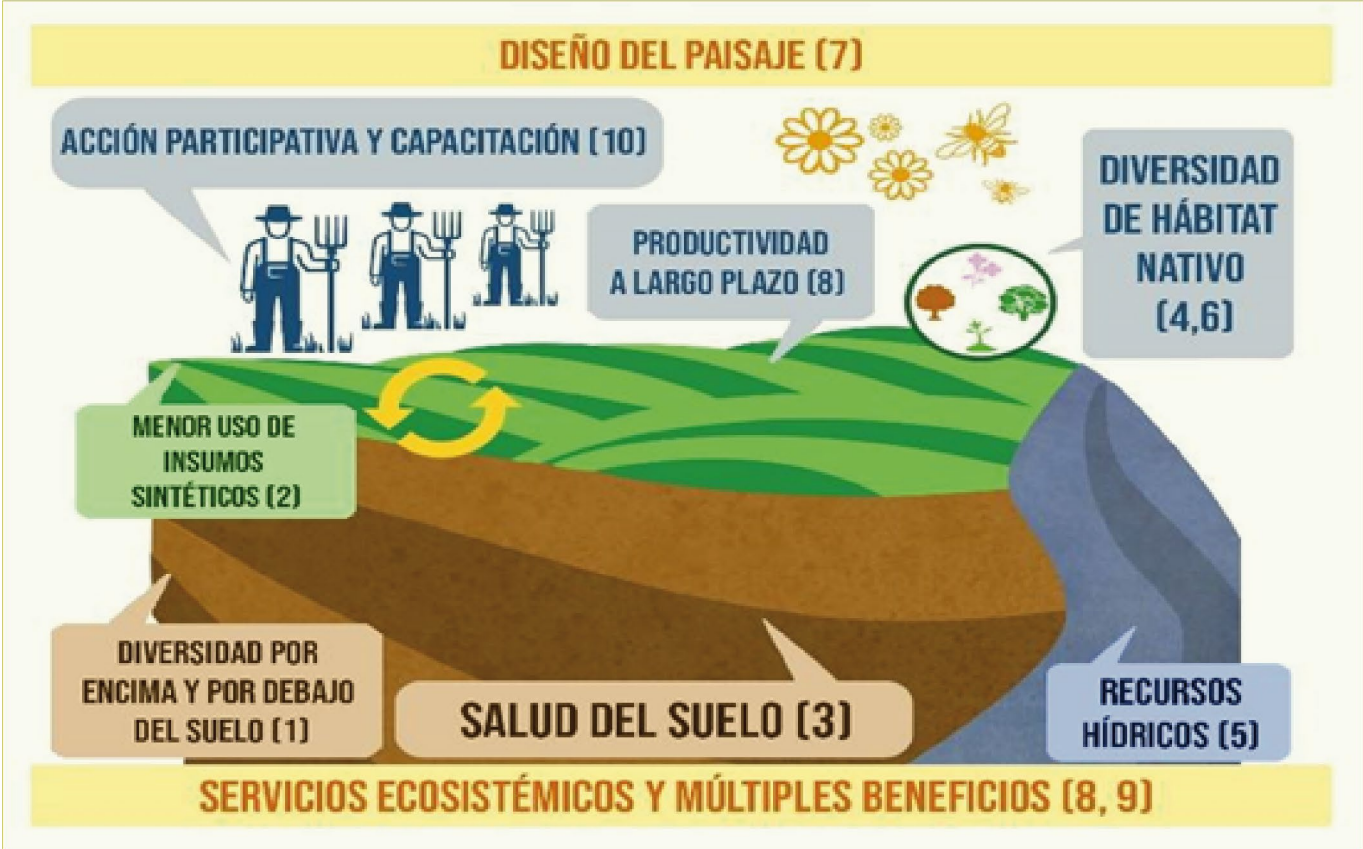
En el presente trabajo se proponen 10 objetivos de políticas con base científica que ofrecen un marco para implementar la intensificación ecológica y avanzar en los estudios que ayudarán a integrar las perspectivas biológica y política (cuadro 1 y figura 1).

Los objetivos 1 y 2 son fundamentales para lograr la intensificación ecológica, mientras que los objetivos 3 a 8 constituyen formas efectivas de alcanzar los primeros. Este proceso

también ofrece otros múltiples beneficios que van más allá de la productividad agrícola (objetivo 9), pero exigen la acción participativa, conocimiento y capacitación (objetivo 10). Con excepción de estos últimos, los objetivos que se plantean están centrados en los aspectos biofísicos de la intensificación ecológica, cuyas prácticas pueden ser aplicadas por agricultores de todas las escalas.

Cuadro 1. Objetivos de políticas basadas en ciencia para la intensificación ecológica	
1.	Mejorar la diversidad de especies por encima y por debajo del suelo
2.	Reducir el uso de insumos sintéticos
3.	Mejorar la salud del suelo
4.	Mantener o restaurar áreas naturales y seminaturales
5.	Proteger y usar eficientemente los recursos hídricos
6.	Incrementar la diversidad del hábitat
7.	Integrar prácticas en un diseño de paisaje
8.	Evaluar la productividad agrícola y los servicios del ecosistema en el largo plazo
9.	Considerar múltiples beneficios
10.	Facilitar la acción participativa y la capacitación de los agricultores

Figura 1. Diseño del paisaje



Intensificación ecológica

Los campos que presentan mayor diversidad de especies, tanto en la superficie como bajo el suelo (objetivo 1) promueven los servicios ecosistémicos y pueden incrementar la productividad agrícola. La diversidad de plantas silvestres y cultivos ayuda a mantener distintas comunidades de organismos, al ofrecer mayor variedad de recursos alimenticios. Algunas de las actividades que se pueden llevar a cabo para promover este objetivo están relacionadas con el uso de franjas florales y barbechos verdes. Existen iniciativas con incentivos financieros para los agricultores que adoptan estas medidas, tales como los esquemas agroambientales de la Unión Europea.

En algunos países en vías de desarrollo, donde la dimensión de los campos es limitada y no es posible asignar tierra a fines no agrícolas, los agricultores han innovado sembrando cultivos atractivos para los polinizadores en los límites de aquellos menos llamativos. Como ejemplo, en Tailandia, China y Vietnam se ha demostrado que cultivar plantas productoras de néctar alrededor de los campos de arroz produce un aumento en las poblaciones de biocontroladores y detritívoros, una reducción en el uso de insecticidas (70%), un mayor rendimiento de granos (5%) y una ventaja económica (7,5%).

Cuando se reduce el uso de insumos sintéticos (objetivo 2), agroquímicos y energías no renovables, disminuyen también las externalidades negativas asociadas a la agricultura. Entre ellas, algunas de las más importantes son los gases de efecto invernadero, los residuos plásticos, las malezas resistentes, la pérdida de biodiversidad y la contaminación de agua y alimentos. Además, esta acción puede incrementar la productividad y la ganancia de los productores. En la actualidad, las estrategias que reducen el impacto negativo de los desechos plásticos producidos por la agricultura se enfocan

en el reciclado o el desarrollo de nuevos materiales biodegradables. Un ejemplo es la *European Strategy for plastics in a Circular Economy*.

Algunos casos globales de uso excesivo de agroquímicos pueden observarse en África occidental, donde el nivel de uso de pesticidas pone en riesgo las formas de vida terrestres y acuáticas; en Francia, donde se estima que su utilización podría reducirse en un 42% sin afectar negativamente a la productividad y a rentabilidad del 59% de los campos relevados, y en China, donde, a través de un manejo integrado del sistema suelo/cultivo, cerca de 20,9 millones de pequeños productores aumentaron su rendimiento promedio en un 10,8-11,5% (en maíz, arroz y trigo), reduciendo el uso de fuentes sintéticas de nitrógeno en un 15-18%.

Entre las prácticas más habituales para reducir el uso de agroquímicos se encuentran la agricultura de precisión, la rotación de cultivos y el manejo integrado de plagas. Muchas políticas que respaldan la disminución del uso de pesticidas se enfocan en los efectos tóxicos letales que tienen, por ejemplo, sobre las abejas polinizadoras. Recientemente (mayo de 2018), la Unión Europea prohibió el uso de tres insecticidas neonicotinoides (que actúan sobre el sistema nervioso central) en cultivos al aire libre. Por su parte, el gobierno de Vanuatu incorporó en su plan nacional de desarrollo sostenible la eliminación gradual de los insumos sintéticos, mientras que el gobierno danés apunta a duplicar su área cultivada en forma orgánica.

Ventajas

La salud del suelo (objetivo 3) se relaciona con procesos biológicos y físicos clave que impulsan la productividad agrícola. Algunos ejemplos de estos procesos son la transformación

del carbono, el ciclado de nutrientes, la estabilidad de la estructura del suelo y el control de plagas y enfermedades. Sin embargo, a pesar de su importancia, tanto la materia orgánica como la biodiversidad subterránea (indicadores de la salud del suelo) se encuentran en franca disminución en muchos sistemas agrícolas. Esta tendencia se puede revertir mediante prácticas como la diversificación de cultivos, el uso de legumbres en la rotación, la aplicación de fertilizantes orgánicos y la reducción de la labranza.

En Andhra Pradesh (India), la iniciativa *Zero Budget Natural Farming* busca orientar a los agricultores para que puedan mejorar la fertilidad de los suelos y reemplacen el uso de insumos químicos por orgánicos. Por otro lado, en EE.UU. la iniciativa *California's Healthy Soils* apunta a proteger y restaurar la materia orgánica del suelo, a identificar oportunidades de financiamiento sostenibles e integradas, a aumentar la eficiencia gubernamental en tierras públicas y privadas, y a promover la coordinación interinstitucional.

Como las áreas naturales y seminaturales brindan recursos que no están disponibles en los campos cultivados (por ejemplo, alimento y sitios para anidar), su conservación o restauración en paisajes agrícolas (objetivo 4) ayuda a mejorar la diversidad de organismos benéficos para la producción. Este objetivo se puede alcanzar mediante incentivos como los esquemas agroambientales voluntarios, medidas obligatorias como *Ecological Focus Areas* en Europa, y programas como *Conservation Reserve Program*, *Conservation Stewardship Program* y *Environmental Quality Incentives Program* en EE.UU. Otro ejemplo puede observarse en Brasil, donde las llamadas “reservas legales” son obligatorias. Allí, una parte de cada campo debe estar enfocada en la conservación o restauración de la biodiversidad y los procesos ecológicos, la protección de la flora y fauna nativas y el uso sostenible de los recursos naturales. El tamaño de estas reservas es determinado de la siguiente manera: si el campo

se encuentra ubicado en el área forestal del bioma Amazona se debe conservar el 80%, mientras que, si se encuentra en el área del Cerrado, se conserva el 35%. En el resto de las regiones el porcentaje de conservación obligatorio es del 20%.

Otra forma de mejorar la productividad y reducir las externalidades negativas consiste en proteger y utilizar los recursos hídricos en forma más eficiente (objetivo 5). Las medidas más utilizadas incluyen soluciones de ingeniería para prevenir sequías o inundaciones, el uso de cultivos resistentes a sequías, la mejora de la salud del suelo (objetivo 3) y la protección de áreas naturales y seminaturales (objetivo 4). En este sentido, las riberas son zonas especialmente importantes porque se hallan en la intersección de tres ejes fundamentales: los recursos hídricos, la biodiversidad y la agricultura. En Ghana, su valor ha sido reconocido por la Comisión de Recursos Hídricos a partir del desarrollo de la *Riparian Buffer Zone Policy*, aunque aún no ha sido implementada. A su vez, en la principal región agrícola de EE.UU. el uso de praderas naturales reconstituidas en los márgenes de cultivos contribuyó en forma directa a una mejora de la biodiversidad, reduciendo la escorrentía en un 37%, lo que resultó en una mayor retención de tierra. Esta práctica puede ser respaldada gracias al costo compartido por los agricultores que participan del *Conservation Reserve Program*.

Una forma de lograr el desarrollo de agroecosistemas capaces de autorregularse es promover la diversidad del hábitat (objetivo 6). Por ejemplo, la variación de cultivos con flor puede brindar recursos diversos para distintos organismos beneficiosos. Sin embargo, los paisajes agrícolas actuales se encuentran cada vez más dominados por el monocultivo; especialmente por unas pocas especies de cereales y oleaginosas. Algunos países donde se presenta este problema promueven iniciativas como el *Strategic Development Plan* del Sector Agrícola de Benin, que busca generar agroecosistemas más heterogéneos a través de la diversificación de cultivos. Una

propuesta de ley reciente (diciembre de 2017) sobre “presupuestos mínimos para la biodiversidad en paisajes agrícolas” presentada en el Senado argentino explica la importancia de establecer al menos cuatro hábitats diferentes cada 200 hectáreas; cada hábitat debe cubrir un mínimo de 20 hectáreas, y uno de ellos debe ser un área natural.

Los beneficios de la intensificación ecológica dependen del contexto. Por este motivo, cuando se crean hábitats para los organismos beneficiosos se debe considerar el paisaje que los rodea (objetivo 7). Por ejemplo, a medida que la escala espacial se incrementa y que crece el número de cultivos, resulta cada vez más importante contar con especies que brinden los servicios necesarios para favorecer su desarrollo. Existen muchos ejemplos de campos de considerables dimensiones que disponen de extensas redes de franjas florales ubicadas entre las unidades productivas. Esta configuración ofrece múltiples beneficios tanto para la polinización de los cultivos como para la regulación de plagas. Para impulsar el desarrollo de poblaciones de organismos que brinden servicios a todos los campos de una región, la Unión Europea cuenta con políticas promotoras de infraestructuras verdes que facilitan la conectividad entre paisajes cultivados. Este tipo de estrategia de conservación a escala de paisaje requiere acciones coordinadas que pueden estar fuera del alcance de los administradores de tierras individuales. Se puede brindar apoyo para que los agricultores trabajen en conjunto, tal como ocurre en el caso del *Countryside Stewardship facilitation fund* en Inglaterra, que favorece la acción coordinada de los llamados “grupos agrícolas”.

Las prácticas agroecológicas pueden demorar cierto tiempo hasta que se advierten sus resultados (principalmente si se las compara con prácticas convencionales de aplicación de pesticidas o fertilizantes sintéticos), por lo que deben ser evaluadas en el largo plazo (objetivo 8). Algunas intervencio-

nes del hábitat como la implementación de franjas florales para polinizadores permiten formar poblaciones a lo largo de los años. Sin embargo, su resultado consiste un incremento de la productividad, por lo cual inversiones inicialmente destinadas al manejo agroecológico retornan como ganancias. De manera similar, un suelo con buena estructura y comunidades subterráneas saludables se traduce en beneficios que van acumulándose gradualmente. Por lo general, una mayor riqueza de especies se asocia a mayor estabilidad y capacidad de recuperación de la productividad, pero estas características sólo se logran en períodos que incluyen temporadas de cultivo con clima adverso, eventos climáticos extremos o brotes de plagas.

Un ejemplo de política que considera estos plazos es el apoyo financiero de la Unión Europea para el establecimiento y mantenimiento de la agrosilvicultura. Aplicar seguros para la gestión de riesgos también constituiría una buena estrategia para cubrir pérdidas en años en que las prácticas agroecológicas no generan los resultados esperados. En Australia, el *National Landcare Program* contempla la necesidad de desarrollar acciones sostenidas en el largo plazo para solucionar las amenazas agrícolas actuales, por lo cual abarca un período de más de 10 años (2014-2023).

Apoyo de la intensificación ecológica

Las políticas para la intensificación ecológica deben considerar y equilibrar múltiples costos, beneficios, sinergias y relaciones de compromiso entre beneficios (objetivo 9). Sus ventajas pueden ir más allá del rendimiento de los cultivos; por ejemplo, al generar mejoras para la salud humana por menor uso de pesticidas, la obtención de un volumen mayor de alimentos nutritivos en áreas con mayor diversidad agrícola o la conservación de tradiciones o herencias culturales como el significado simbólico de las especies. Como distintas perso-

nas tendrán preferencias diferentes, se debe contar con una variedad de servicios ecosistémicos que generen un entorno valioso para todos. Por esta razón, las políticas deben considerar la pluralidad de puntos de vista y las necesidades de las partes afectadas. Por ejemplo, el *Countryside Stewardship Scheme* del Reino Unido brinda apoyo para mantener vegas y huertos tradicionales por su valor cultural y de conservación. Este tipo de hábitat también es importante para las especies que prestan servicios ecosistémicos. En Bolivia, la Ley de la Madre Tierra apoya el desarrollo sostenible, respetando el equilibrio entre la vida humana y el ambiente natural, priorizando los derechos y el conocimiento de la población indígena.

Los casos exitosos de intensificación ecológica suelen involucrar capacitación para los agricultores, investigaciones con acción participativa y construcción de capital social (objetivo 10). La intensificación convencional, en cambio, ofrece un conjunto simple de prácticas basadas en grandes extensiones de monocultivo y en el uso de insumos sintéticos. Este modelo tuvo su origen en la Revolución Industrial; es decir, en un momento en el cual el volumen de la población humana representaba menos del 15% del actual y en el que las externalidades ambientales de los sistemas productivos no eran tan evidentes. Por el contrario, la intensificación ecológica implica el manejo de conocimientos y nace como una necesidad urgente en un mundo con más de 7000 millones de personas. La plataforma global *Farmer Field School*, administrada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, brinda apoyo y consejo técnico a los gobiernos y a los servicios nacionales de asesoramiento. La efectividad de esta meta también dependerá de la participación de las grandes compañías alimenticias, capaces de influir en las prácticas de los agricultores a través de “objetivos ambientales” para los productos que adquieren. Estos productos ecológicos serán cada vez más demandados por los consumidores a nivel mundial.

Si se considera la importancia de contar con una gama amplia de organismos que brinden servicios a los agroecosistemas, cabe esperar que las políticas que buscan proteger a comunidades bióticas enteras sean más eficientes para satisfacer la demanda creciente de productos y para mantener, al mismo tiempo, la multifuncionalidad de los paisajes. Estas medidas no compiten necesariamente con las ganancias de los productores; pueden, incluso, aplicarse en áreas que tienen menos potencial de rendimiento pero que, a menudo, aportan un mayor valor de conservación (por ejemplo, márgenes de ríos o zonas con pendientes pronunciadas). De hecho, en muchos casos la productividad agrícola y las ganancias aumentan como resultado de mejoras en los servicios ecosistémicos.

Las acciones posibles para el grupo encargado de formular políticas dependerán del contexto político, histórico y ambiental, pero también de cómo se interpreta el objetivo. Dada la variedad de vías de implementación y resultados es importante que las políticas de intensificación ecológica incluyan objetivos claros y metas mensurables sobre la base de las cuales puedan ser evaluadas regularmente. En nuestra opinión, las políticas de intensificación ecológica más favorables deben considerar a la agricultura como un sistema estrechamente vinculado a la seguridad alimentaria nacional, que debe proporcionar bienestar a las poblaciones rurales mediante inversiones en infraestructura ecológica y manejo del conocimiento.

Corredores rurales: su rol en los sistemas de producción sostenibles

■ **Dr. Santiago Poggio**

Universidad de Buenos Aires.

Los paisajes rurales son el resultado de interacciones complejas que las sociedades humanas establecieron con el ambiente y con los ecosistemas en escalas de tiempo histórico. En este

proceso, las tierras fueron divididas y cercadas para establecer poblados y delimitar propiedades, así como para separar actividades distintas, como la agricultura y la ganadería.

Los territorios fueron surcados por vías de comunicación, primero por rastrilladas y caminos, más tarde por vías férreas, rutas pavimentadas y autopistas. La expansión de la agricultura, simultánea al crecimiento de las urbanizaciones, creó complejos gradientes e interfaces entre zonas rurales y urbanas. Actualmente, la producción agropecuaria se desarrolla en espacios heterogéneos y funcionalmente dinámicos, los cuales están conectados con pueblos y ciudades. En este contexto, el diseño de sistemas de producción sostenibles exige el reconocimiento de las complejidades que estructuran y dinamizan los paisajes rurales, en particular, la influencia de las tramas de corredores que delimitan los espacios productivos.

El objetivo del presente ensayo es aportar un conjunto de conceptos que ayuden a valorar el rol de esos elementos lineales presentes en los paisajes rurales que, en adelante, denominaremos “corredores”. Se definirán los elementos del paisaje y se ofrecerán ejemplos reconocibles en los establecimientos agropecuarios. Asimismo, se describirán las funciones ecológicas que tienen lugar en los corredores y su relación con las actividades agropecuarias. Se destaca el papel central de los corredores rurales por los numerosos beneficios y perjuicios que pueden ocasionar a la agricultura. Esto justifica reconocer su valor y promover una gestión más consciente y participativa, que contemple tanto su manejo fitosanitario, como la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecológicos.

El paisaje rural

Los paisajes rurales son descriptos como *mosaicos* de parches delimitados y surcados por elementos lineales asociados principalmente a la demarcación de las tierras y al trans-

porte. Dichos parches constituyen áreas de extensión variable y forma generalmente cuadrangular. Esos espacios son destinados a distintos usos de la tierra relacionados con la producción agropecuaria, como lotes agrícolas y potreros, vivienda u otras actividades como la industria y la recreación.

Los elementos lineales, denominados comúnmente *corredores*, consisten en franjas angostas con características internas que contrastan con las áreas linderas. En los paisajes rurales, los corredores se corresponden principalmente con elementos asociados a la actividad humana, como alambrados y corrales, caminos, rutas y vías férreas, cortinas de árboles y avenidas forestadas. Los cursos de agua, con sus márgenes ribereños, también son considerados corredores, pero no serán abordados en el presente apartado.

Los corredores forman redes que les confieren a los paisajes rurales su fisonomía característica. Pueden conformar tramas intrincadas y complejas en función de su densidad y sus interconexiones, como así también de la variabilidad de anchos y de su heterogeneidad espacial. La complejidad de las tramas de corredores está estrechamente ligada a la dinámica espacial de numerosos procesos ecológicos y biogeoquímicos que ocurren en los paisajes rurales.

Funciones ecológicas de los corredores

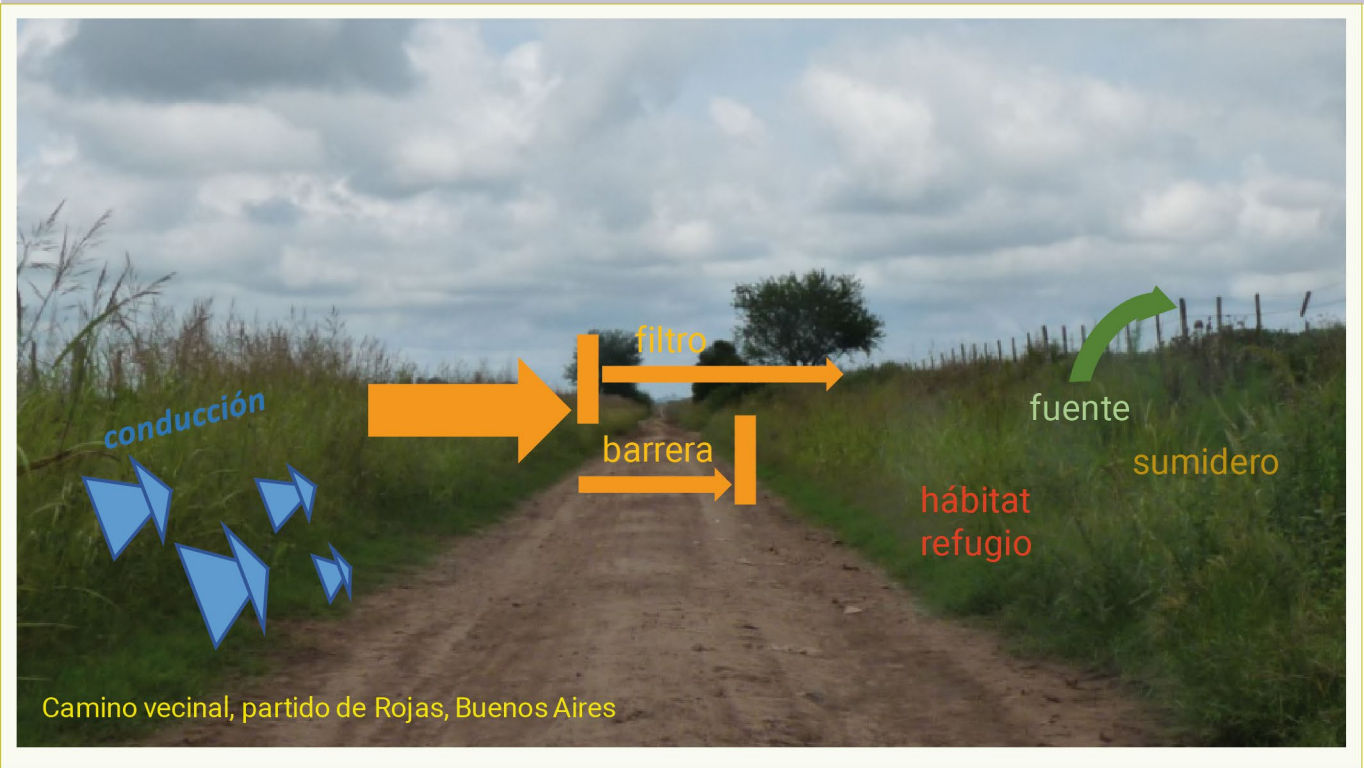
En los corredores tienen lugar funciones ecológicas que se relacionan tanto con la persistencia y el movimiento de organismos vivos, como con flujos de materia y energía. Las funciones de los corredores son básicamente las de hábitat, conducción, barrera o filtro y relaciones fuente-sumidero (figura 1).

En su función de *hábitat*, los corredores proveen alimento, refugio, espacios de apareamiento y nidificación, además de

otras variables ambientales que afectan, directa o indirectamente al comportamiento individual, a la dinámica poblacional y a las interacciones.

La *conducción* refiere al movimiento longitudinal en los corredores. Esta función es clave en la conservación de la vida silvestre porque asegura la conexión de las poblaciones entre parches de hábitats distribuidos en paisajes fragmentados por la actividad humana. Ligada a la función de conducción, la *conectividad de hábitats* es la capacidad de las poblaciones dispersas en paisajes fragmentados de conectarse entre sí. Este concepto se enfoca en los vínculos funcionales entre los parches de hábitat de una especie en particular, siendo uno de los pilares de la biología de la conservación. Desde la perspectiva humana, se reconoce la *conectividad del paisaje*, centrada en la continuidad física de la cobertura de un tipo de vegetación, generalmente nativa, y la *conectividad ecológica*, con foco en los procesos ecológicos en escalas espaciales múltiples, como las relaciones de herbivoría y depredación, el movimiento de semillas con el transporte o los flujos de agua, nutrientes y contaminantes en una cuenca.

Figura 1. Funciones ecológicas reconocidas en los corredores de paisajes rurales. Las funciones representadas se describen en el texto.



A su vez, los corredores también pueden imponer *barreras* o *filtros* al movimiento de plantas, animales y materiales en un territorio. Por ejemplo, los taludes de rutas y vías férreas embalsan las aguas restringiendo el escurrimiento en una cuenca; el tránsito vehicular es un factor de mortalidad de los animales que atraviesan las rutas.

Por último, las *relaciones fuente-sumidero* ocurren entre los corredores y los espacios vecinos, e incluyen tanto a plantas y animales, como también al movimiento de materiales y compuestos químicos. En las relaciones fuente-sumidero que tienen lugar en organismos vivos, una población local (sumidero) persiste por la dispersión desde hábitats vecinos con fecundidad más alta (fuente). En los sumideros, la reproducción es menor que la mortalidad, por lo que las poblaciones no se perpetuarían si la dispersión desde las fuentes se interrumpiera. Esta dinámica demográfica explica la persistencia de algunas malezas en los bordes de lotes agrícolas, debido a la dispersión desde los corredores hacia las cabeceras. En las interfaces entre los cultivos y la vegetación de sus bordes, dichas relaciones también explican el movimiento de insectos polinizadores y enemigos naturales de insectos plaga.

Importancia de los corredores en el paisaje rural

Las tramas de corredores constituyen una de las características más notorias en los paisajes rurales. En los corredores tienen lugar procesos relacionados con los servicios ecológicos que benefician a la agricultura. Es sabido que estas tramas albergan una parte importante de la vida silvestre de los agroecosistemas, incluyendo especies nativas de la vegetación original, muchas de ellas excepcionales. Al mismo tiempo, los corredores proveen recursos y facilitan el movimiento de numerosas poblaciones, como los insectos polinizadores y enemigos naturales de las plagas, sapos y ranas que se alimentan de insectos, y roedores que consumen semillas. Ade-

más, las tramas de corredores también contribuyen al valor escénico de los paisajes rurales.

Por otro lado, la disponibilidad de hábitats para la vida silvestre a menudo se ve reducida por el cultivo de los márgenes de rutas y caminos, junto con la remoción de los alambrados tendiente a ampliar el área cultivada. A menudo, la vegetación de los alambrados y márgenes de caminos es considerada una fuente potencial de malezas y plagas agrícolas, por lo que es común que se la controle intensamente.

Las vías vegetadas y las terrazas merecen un párrafo aparte. Por su forma generalmente alargada, estos elementos del paisaje pueden considerarse corredores. Instaladas con el propósito principal de subsanar y prevenir la erosión hídrica, las vías vegetadas proveerían también otros servicios relacionados con procesos ecológicos clave en los agroecosistemas. Además de su papel en la hidrología de una cuenca por disminuir los efectos erosivos de la escorrentía, las vías vegetadas contribuirían al secuestro de carbono, a la retención de nutrientes y pesticidas solubles en agua y al sostenimiento de la biodiversidad. Estas funciones destacan su valor para proveer múltiples servicios ecológicos en los paisajes rurales.

Manejo consciente

El papel central de los corredores rurales en los sistemas de producción sostenibles reside en la confluencia de los numerosos beneficios y perjuicios aquí mencionados. Estas razones acentúan la importancia de la puesta en valor y el manejo consciente de los corredores rurales, de forma tal que contemplen tanto objetivos fitosanitarios como de conservación. Cualesquiera sean los planteos técnicos, el manejo de los corredores exige el compromiso directo de las comunidades rurales y el apoyo activo de los municipios y gobiernos provinciales. Si bien los productores agropecuarios son

los actores centrales, los asesores y extensionistas deberán aportar nuevos conocimientos y contribuir a un cambio en el modo en que se perciben aquellos espacios que no se destinan a la producción.

La gestión participativa de los corredores constituye una oportunidad para el diálogo y la acción conjunta de las poblaciones rurales y urbanas, lo que contribuiría a mejorar la convivencia en las interfaces entre los espacios agrícolas y las zonas urbanizadas.



Bibliografía

Garibaldi, L. A., Pérez-Méndez, N., Garratt, M. P., Gemmill-Herren, B., Míguez, F. E., y Dicks, L. V. "Policies for ecological intensification of crop production". *Trends in ecology and evolution*, 34(4), 282-286. 2019.

12

Ecología y cultivos
en los sistemas de
producción CREA



Región Centro

■ Ing. Agr. M. Sc. Ariel Angeli

Área de Ambiente, Unidad de Investigación y Desarrollo del Movimiento CREA.

■ Ings. Agrs. María Pía Bonamico y Guillermo García

Unidad de Investigación y Desarrollo del Movimiento CREA.

La agricultura en la región CREA Centro comprende alrededor de 160.000 hectáreas anuales y se desarrolla principalmente en secano. Dadas las condiciones agroclimáticas de la región -caracterizada por un clima subhúmedo a semiárido en el este y oeste de la región, respectivamente, con régimen monzónico y suelos con moderada a escasa capacidad de retención hídrica- el manejo de la dinámica del agua es un aspecto clave para la productividad de los cultivos.

La agricultura se concentra principalmente en el período de mayores precipitaciones (semestre cálido), siendo soja y maíz los principales cultivos. En aquellos ambientes donde las condiciones de déficit hídrico son más frecuentes predominan las estrategias defensivas (un ejemplo de ello es la elevada proporción de maíz tardío).

Si bien existe cierta variabilidad, tanto en lo que respecta a los indicadores de deterioro del sistema -que van desde incipientes problemas de fertilidad química o infiltración hasta graves problemas de enmalezamiento- como respecto al accionar de los productores frente a esta problemática, se evidencian algunos cambios o procesos tendientes a mejorar la sostenibilidad del sistema agrícola.

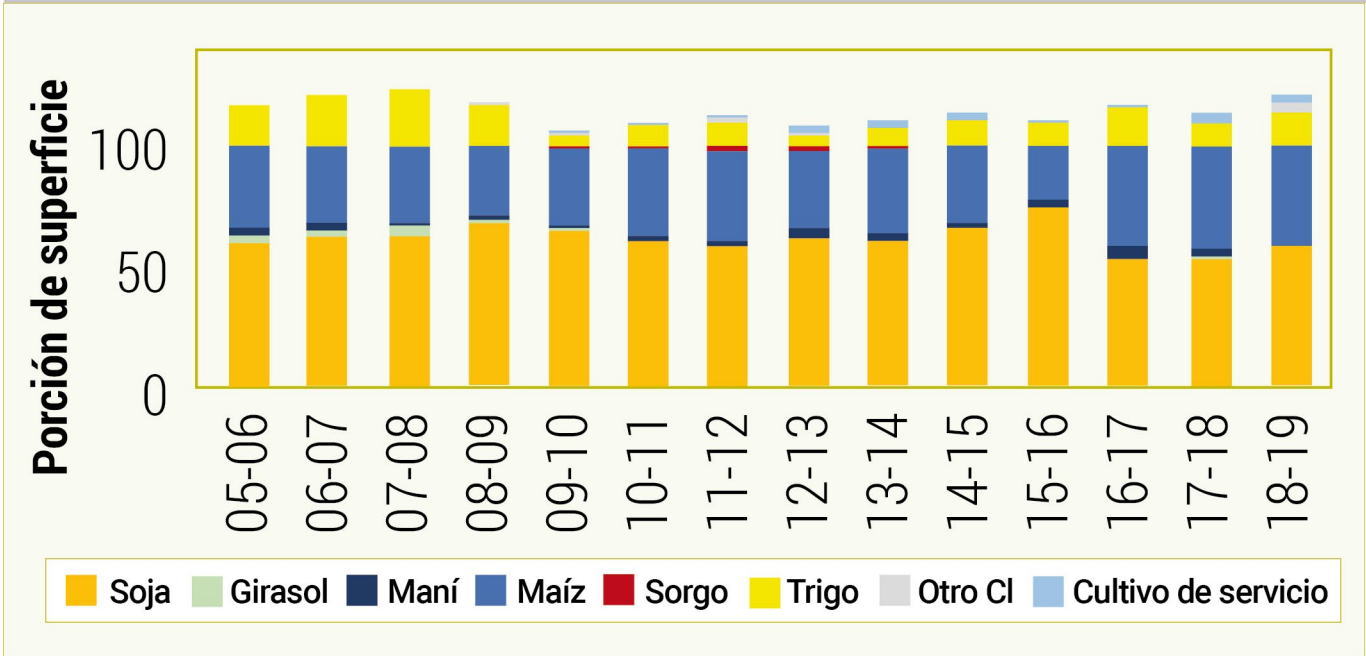
Rotaciones balanceadas

El balance de carbono en los suelos es un aspecto preocupante, dados los niveles de materia orgánica relativamente bajos y

el riesgo de erosión eólica que caracteriza a varios ambientes de la región. En este sentido, el aporte que realizan las gramíneas resulta fundamental, con el maíz como protagonista indiscutido (40% del total). La proporción de gramíneas en la rotación se ha incrementado, alcanzando en la campaña 2018/19 los valores más altos de los últimos 15 años (gráfico 1).

En las últimas campañas, más del 60% del área de maíz se destinó a siembras tardías, dado que la mayor seguridad en la cosecha está definida por la recarga del perfil a la siembra y por una menor demanda hídrica favorecida por el desplazamiento del período crítico hacia fines del verano. Esta estrategia, facilitada en gran medida por la disponibilidad de eventos biotecnológicos de protección frente a plagas permitió elevar el *piso* de rendimiento del cultivo, principalmente en el oeste de la región donde casi la totalidad del área sigue este manejo. En la actualidad, se evalúan otros aspectos asociados a esta estrategia para incrementar promedios y *techos* de rendimiento, como el ajuste de la disponibilidad de nitrógeno y la protección frente a enfermedades.

Gráfico 1. Proporción de cultivos en la región Centro durante las últimas 14 campañas. 100 = Superficie agrícola de verano. Por encima de 100 se muestran los cultivos de invierno

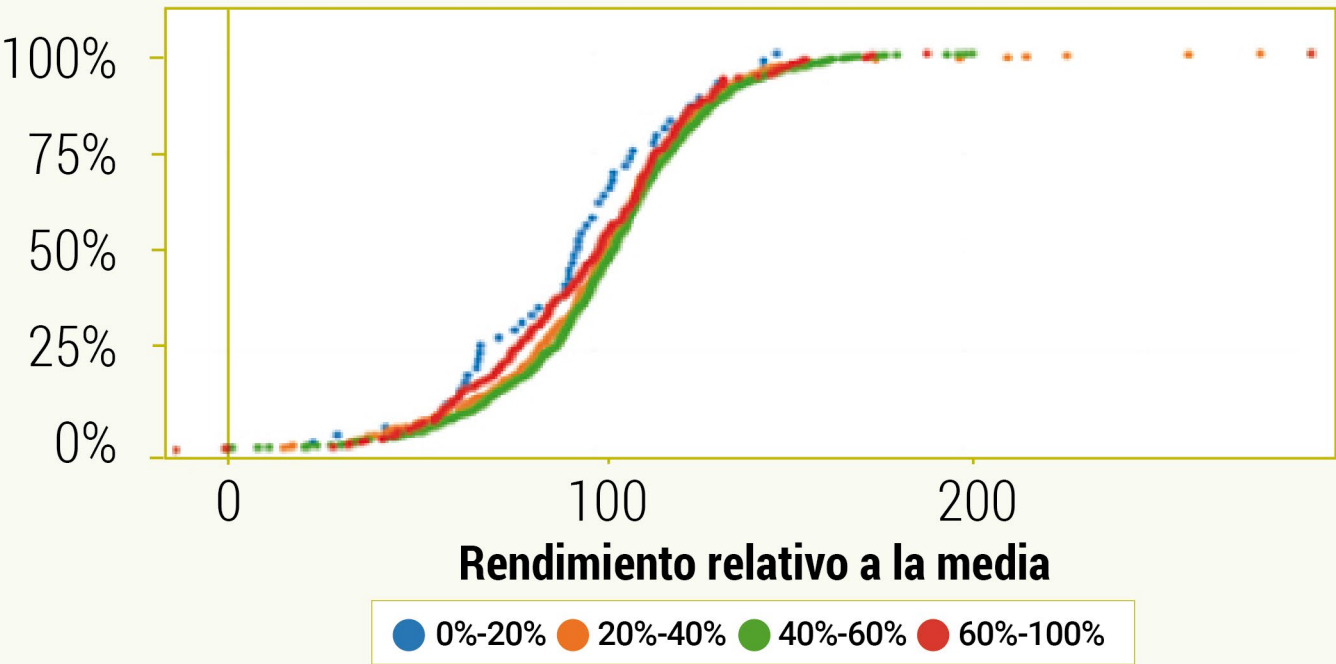


Fuente: AgriZoCe/DAT región Centro.

Los cultivos invernales de gramíneas (fundamentalmente trigo y centeno sin finalidad de cosecha) complementan al maíz en la época de menores precipitaciones, confiriéndole mayor sostenibilidad al sistema.

El rendimiento de soja, el cultivo más sembrado en la región, es aproximadamente un 10% mayor en rotaciones que cuentan con 40-60% de gramíneas en relación al monocultivo. Esto quiere decir que uno de cada dos cultivos de la región debería ser una gramínea (gráfico 2).

Gráfico 2. Distribución de rendimiento de soja de primera en la región Centro en función del porcentaje de gramíneas en la rotación



Índice de gramíneas	25%	50%	75%	N	Media
0%-20%	69	95,4	110,3	53	94,2
20%-40%	84,8	102,9	118,9	379	101,7
40%-60%	87,9	104,6	120,6	1205	103
60%-100%	77,9	101,3	116,8	261	98,5

Intensificación agrícola

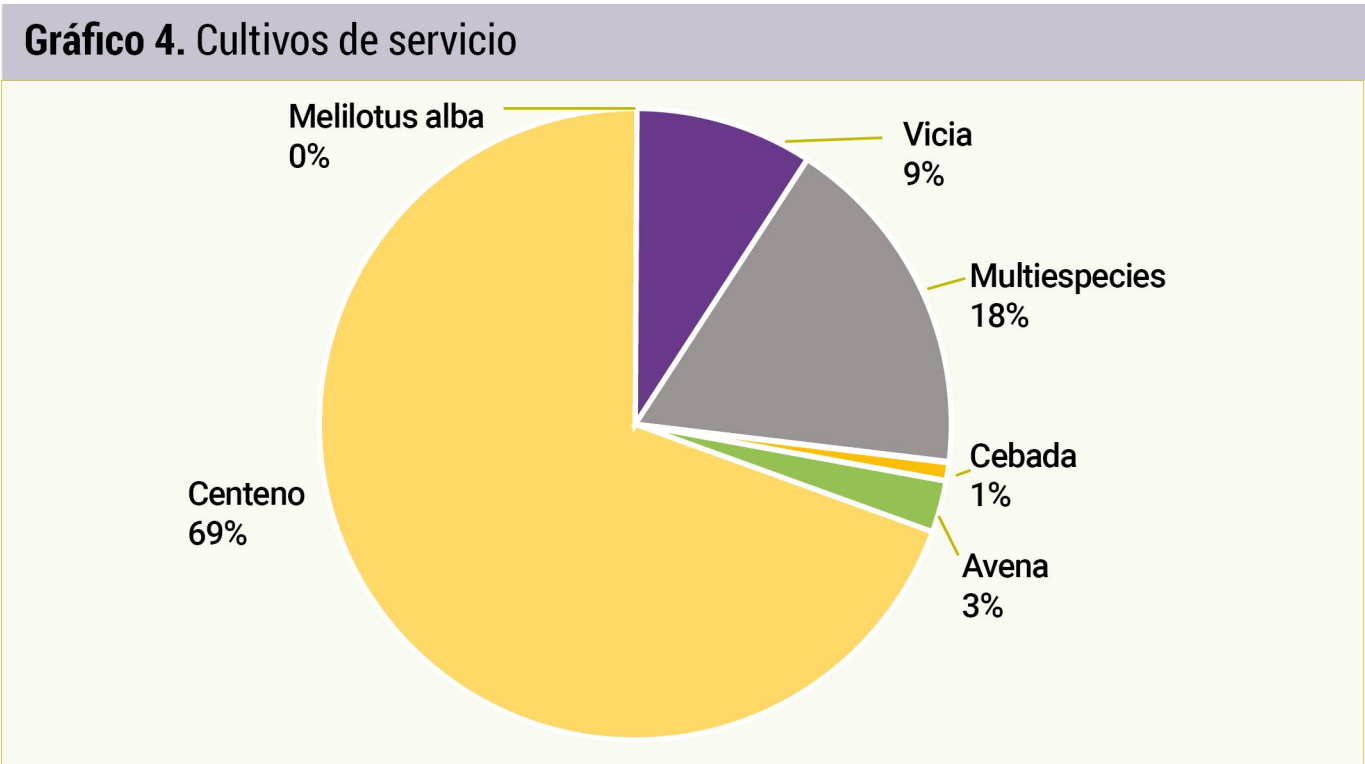
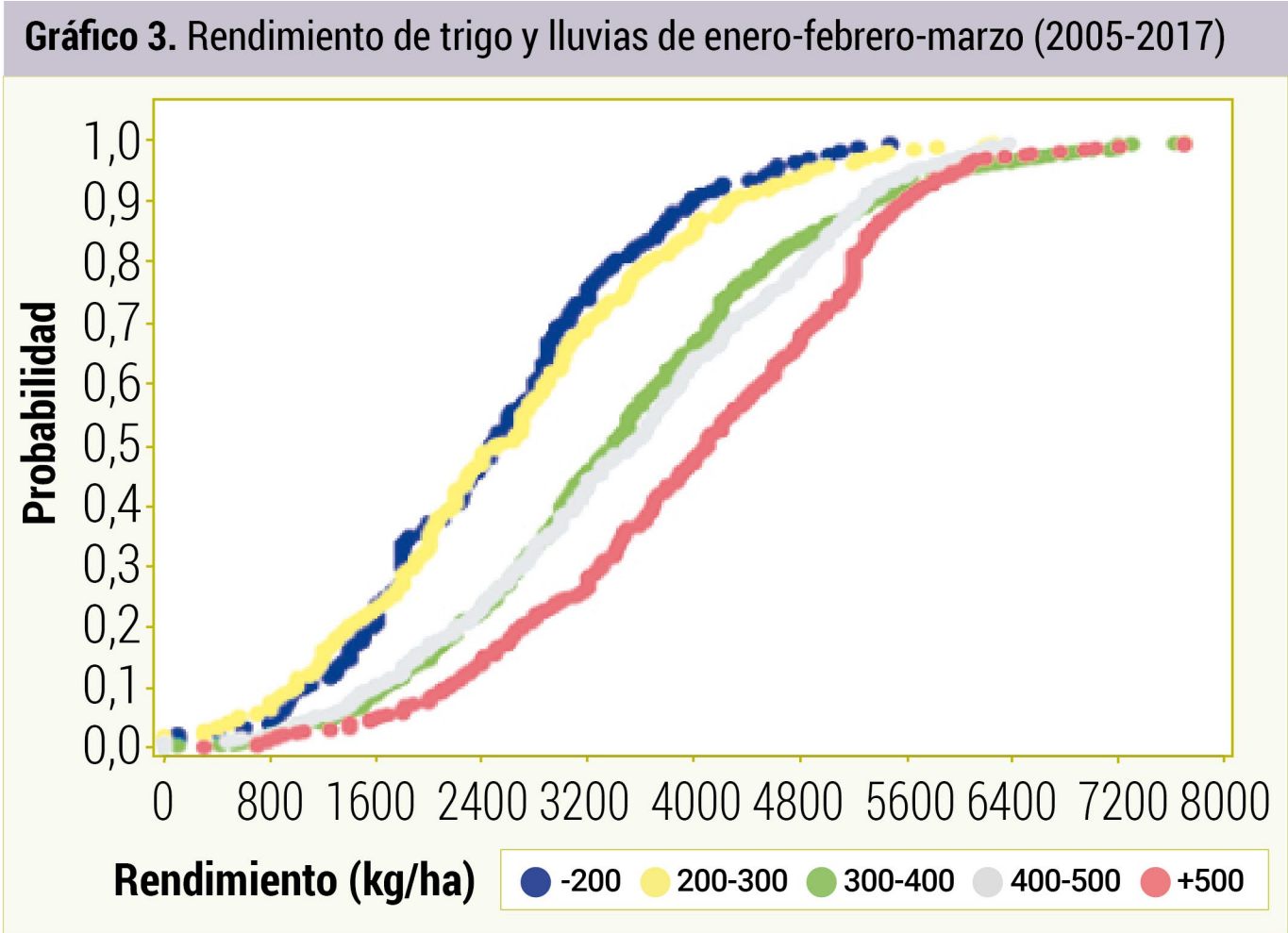
En los últimos años, una mejor elección de ambientes para el trigo y la incorporación de cultivos sin finalidad de cosecha per-

mitieron intensificar los sistemas agrícolas. Los motivos que justifican tal intensificación son variables. En situaciones donde la sostenibilidad se ve amenazada por la presencia de napas freáticas cercanas a la superficie, la intensificación con destino a cosecha de los cultivos invernales es la elección principal; en algunas situaciones, incluso se incorporan cultivos perennes. En ambientes de menor productividad o en aquellos que poseen balances hídricos más ajustados los cultivos sin finalidad de cosecha en el invierno aportan mayor cobertura. En ambos casos, una intensificación bien planificada se asocia con mejoras en la captura de recursos y aumentos en los niveles de materia orgánica.

Los rendimientos promedio del trigo han mejorado notablemente en la última década (~ 170 kg/ha/año). Este comportamiento se asocia con una elección más rigurosa de los ambientes donde se siembra el cultivo. En general, el rinde del trigo en la región muestra una fuerte correlación con las precipitaciones estivo-otoñales, las cuales definen la recarga del suelo a la siembra (gráfico 3). En el mismo sentido, los ambientes con influencia positiva de la napa freática muestran una clara ventaja productiva. Dado, entonces, que la disponibilidad hídrica inicial es un factor relevante para el éxito del cultivo, el seguimiento de la recarga del perfil y las mediciones de profundidad de napa se han vuelto indicadores comunes a la hora de asignar superficie.

En los últimos años, la adopción de cultivos sin finalidad de cosecha se ha incrementado. Estos brindan diferentes servicios y constituyen una valiosa opción en ambientes no aptos para cultivos de grano. La mayor superficie cultivada se registra en el oeste, donde el trigo encuentra marcadas limitaciones hídricas. En el resto de la región, los ambientes de mediano a bajo potencial sin influencia de napa son los elegidos para realizar estos cultivos. El principal objetivo es la generación de cobertura, además del manejo de malezas, la provisión de nutrientes y mejoras de la infiltración.

El centeno como única especie (~70% de la superficie) o como parte de mezclas multispecies tendientes a facilitar el manejo de malezas es el principal cultivo sin finalidad de cosecha. La vicia comienza a ser incorporada, fundamentalmente por su provisión de nitrógeno al cultivo de grano posterior (gráfico 4).



Fuente: DAT Invierno 2019/20.

La elevada participación de centeno, y el cultivo de maíz como principal antecesor y sucesor de cultivos sin finalidad de cosecha, caracteriza a un sistema marcadamente intensificado con gramíneas.

Con el objetivo de obtener indicadores comunes que permitan desarrollar mejores prácticas de manejo de los cultivos sin finalidad de cosecha, la región desarrolló un protocolo que permite evaluar la condición hídrica y nutricional del suelo a la siembra (Etapa 1), al momento del corte de ciclo (Etapa 2), a la siembra del cultivo de verano (Etapa 3) y a la cosecha de ese cultivo estival (Etapa 4). En todos los casos, las mediciones se realizaron en cultivos establecidos con tecnología del productor, y en una franja contigua del mismo lote (dejada como testigo) con barbecho químico. Los principales aprendizajes obtenidos de la medición de más de 30 sitios en la región son los siguientes:

- Las siembras tempranas de cultivos sin finalidad de cosecha son clave para la producción de materia seca. Los cultivos sembrados en abril obtienen una producción mayor en relación con aquellos sembrados en mayo o junio. Esto se traduce en la posibilidad de cortar su ciclo con anterioridad, y recargar los perfiles para la siembra del cultivo de verano.
- El mayor consumo de agua del cultivo de servicio respecto del barbecho es variable (costo hídrico promedio de entre 60 y 130 mm en bajos y lomas, respectivamente) y se puede recuperar al momento de la siembra del cultivo de verano gracias a una mayor eficiencia para capturar las precipitaciones de primavera en situaciones con cultivos sin finalidad de cosecha. Por ello es importante ajustar la extensión del ciclo del cultivo de cobertura y la fecha de secado.
- Aún sin diferencias en contenido hídrico a la siembra del cultivo de verano, en promedio, los cultivos posteriores (princi-

palmente maíz tardío) rinden 5-10% más sobre barbecho que sobre cultivos de servicio dominados por gramíneas. La razón más probable es la diferencia en los niveles de nitrógeno a la siembra, por lo que un mejor ajuste de la dosis nitrogenada adquiere mayor relevancia en estos casos.

Balance de nutrientes

Los suelos de la región presentan niveles variables de fósforo, con valores promedio de alrededor de 20 ppm. En algunas zonas, la reposición es balanceada mientras que en otras los aportes de fósforo son menores que las extracciones, registrándose una pérdida de fertilidad. En varios casos se implementan estrategias de reposición con fertilizaciones *a voleo* cada dos años, y se evalúan nuevas estrategias de manejo, como la aplicación masiva de guano de gallinas ponedoras.

Manejo de malezas

La presencia de malezas con tolerancia o resistencia a herbicidas de uso frecuente crece campaña tras campaña y debe ser considerada una limitante que atenta contra la sostenibilidad productiva de los sistemas agrícolas regionales. Si bien en los últimos años se incrementó la presión ejercida por gramíneas e incluso por rama negra, el yuyo colorado (*Amaranthus* sp.) tolerante a glifosato y herbicidas ALS es la especie más problemática en la zona. Aún en bajas densidades, esta maleza puede tener un impacto negativo importante sobre el rendimiento de maíz y soja. Los errores de manejo se pagan caro y dejan memoria en el sistema: un lote enmalezado será un problema en las siguientes campañas.

La percepción del problema y la continua evaluación de alternativas a través de ensayos realizados en el marco del Plan Nacional de Malezas CREA generaron importantes aprendizajes de manejo en la región, entre ellos, los siguientes:

- Es necesario conocer la dinámica de evolución exponencial y no lineal del problema para reaccionar a tiempo.
- Cuanto más intensa es la presión de la maleza, mayor debe ser la intensidad de manejo, siendo indispensable aumentar el monitoreo y la aplicación de estrategias de control.
- La combinación de estrategias culturales (como la adopción de cultivos sin finalidad de cosecha destinados a generar cobertura) y químicas tiene un efecto muy beneficioso en el control de malezas. A mayor producción de materia seca del cultivo de servicios, mayor supresión de la emergencia de yuyo colorado.
- El ordenamiento de estrategias químicas en cuanto a su eficiencia de control y/o a su residualidad no es el mismo todos los años.
- En maíz es importante combinar principios activos. Además, se trata de un cultivo que ofrece más opciones de rescate en posemergencia y que permite descargar presión de la maleza.
- En soja los herbicidas PPO combinados con triazinas o cloracetamidas brindan buenas opciones preemergentes, mientras que el rescate es más dificultoso, ya que se encuentra altamente condicionado por las condiciones ambientales, por el tamaño de la maleza y por la calidad de la aplicación.
- Es indispensable realizar un “reseteo” del lote previo a la siembra del cultivo. En ningún caso se debe sembrar el cultivo con yuyo colorado emergido o sin que los herbicidas preemergentes hayan sido activados con una lluvia de 15-20 milímetros.
- Para bien y para mal, los resultados de nuestras decisiones se acumulan en el sistema año tras año.

Consideraciones finales

La sostenibilidad en los sistemas agrícolas de la región Centro viene siendo discutida en los últimos años. Las rotaciones agrícolas con mejor balance entre gramíneas y leguminosas mejoran la productividad de los sistemas y el *stock* de carbono del suelo. La intensificación de la rotación con cultivos de invierno (con o sin finalidad de cosecha) en función de las condiciones edafoclimáticas y del objetivo buscado, colaboran en la misma dirección. Asimismo, se busca el balance de nutrientes, sobre todo de fósforo, para mantener la fertilidad química de los suelos. Por último, es necesario evaluar estrategias integradas para controlar malezas resistentes, las cuales constituyen una problemática emergente de los sistemas de producción agrícola.

Región Córdoba Norte

■ **Ing. Agr. Diego López**

Responsable técnico regional.

■ **Ing. Agr. María Lourdes Cornavaca**

Analista técnica regional.

Un factor de relevancia en la región Córdoba Norte es la disponibilidad de agua, ya que las precipitaciones son estacionales. Prácticamente la totalidad tiene lugar en verano y otoño, con un promedio anual de 750 milímetros y extremos de 600-900 mm, según el año y la latitud, siendo más seco el norte que el sudeste de la zona. Básicamente, el sistema productivo está pensado en función de “cosechar agua”. Lo que se produce en el invierno puede llegar a condicionar cosechas estivales convenientes, que constituyen el principal sustento en la región.

La rotación y el modelo productivo fueron variando a lo largo de los años. A grandes rasgos, se pueden identificar diferentes etapas. Desde el año 2000, con el auge de la siembra directa, la rotación predominante era maíz/soja/trigo-soja. En invierno, la superficie se distribuía entre barbecho químico (66%) y trigo (33%), aunque esta última variaba entre campañas en función de la humedad disponible en el suelo luego de las lluvias del otoño.

A partir del 2009, la rotación pasó a estar constituida fundamentalmente por maíz/soja. El maíz comenzó a sembrarse en fecha más tardía y comenzó a ocupar gran parte del área. En el sur de la región se mantuvo la rotación que incluía trigo-soja en un 20-30% del área, pero hacia el norte los cultivos invernales disminuyeron considerablemente, quedando la rotación de verano conformada por un 50% de maíz, en su mayoría tardío y de primera, y 50% soja, principalmente de primera. Como alternativa de invierno comenzó a posicionarse el garbanzo, ya que la renta era superior a la del trigo. Todo esto condujo a que una gran parte del área se mantuviera con barbecho químico, desde la cosecha de la soja (abril-mayo) hasta la siembra del maíz (diciembre-enero); lo mismo ocurría desde la cosecha del maíz (julio-agosto) hasta la siembra de la soja (noviembre-diciembre). Es decir que los lotes se mantenían sin cultivo por casi 12 meses a lo largo de una rotación de dos años. Esta situación comenzó a generar cuestionamientos respecto de los perjuicios que implicaba mantener durante tanto tiempo el suelo sin cobertura, sin raíces y sin anclaje para los residuos de cosecha, con la consiguiente voladura de rastrojos. También empezaron a advertirse pérdidas paulatinas de materia orgánica y a reportarse lotes con compactación y baja infiltración. Por otra parte, en los últimos años se acrecentó la problemática de malezas resistentes a herbicidas, lo que generó un mayor uso de agroquímicos que elevó los costos económicos, imposibilitando incluso la producción en la cercanía de algunos centros poblados. A esto

se le sumó la necesidad de cumplir con la ley de Agroquímicos N° 9164 de la provincia de Córdoba, en plena vigencia para ese entonces. En este contexto, comenzaron a aparecer las primeras experiencias zonales de siembra de cultivos invernales de servicio.

En 2014 volvieron a posicionarse en la región los cultivos de invierno en una superficie promedio de 25%. Entre las especies principales se encontraba el trigo, seguido por el garbanzo, que creció hasta superar a la gramínea en 2017 y 2018. En esta última campaña, el garbanzo redujo considerablemente su participación por el impacto provocado la baja de precios y los problemas productivos.

A partir de 2017 los cultivos de servicios se posicionaron como un componente importante del sistema ocupando el tercer lugar dentro de la superficie invernal en las últimas tres campañas.

Cuadro 1. Participación de los cultivos de invierno (2014-2019)						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Trigo	93%	75%	60%	30%	36%	63%
Garbanzo	6%	17%	35%	48%	51%	18%
Cultivos de servicio	0%	0%	0%	19%	5%	16%

Cultivos de servicios

Los objetivos de la introducción de los cultivos de servicios en la región Córdoba Norte son los siguientes:

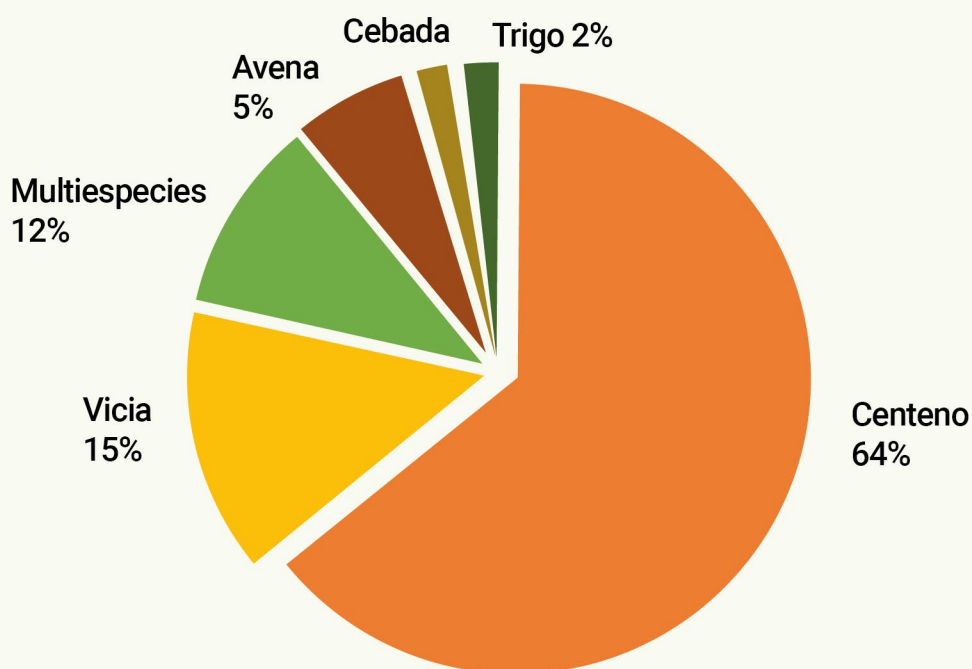
- Cobertura de suelo: anclaje de rastrojos de los cultivos de verano y producción de materia seca nueva, tanto aérea como radical.
- Fertilidad química y física de suelo: reducción de la compactación de los lotes, mantenimiento o mejora de la materia orgánica y de la infiltración de agua en el perfil.

- Mejor control por competencia de malezas difíciles.
- Reducción en la aplicación de agroquímicos, de vital importancia frente a las crecientes demandas sociales y legales.

En 2019 se reportaron más de 5000 hectáreas en secano. Lo más frecuente fue la siembra de centeno, seguida por *Vicia villosa* y cultivos multiespecies (gramíneas + leguminosas). En general, la elección del cultivo de servicio fue determinada por el cultivo de verano posterior. En la mayoría de los lotes que se destinaban a soja se cultivó centeno (*Secale cereale*), mientras en los que iban a maíz se sembró vicia y multiespecie (gráfico 5).

Hasta el momento, la estrategia más difundida en la zona es la implantación con avión de centeno sobre maíz en pie. Este sistema se adecua bien a la rotación actual, ya que la siembra aérea permite aprovechar las últimas lluvias del otoño para lograr una correcta emergencia del centeno y anticiparse a la cosecha de los maíces de siembra tardía, que se realiza en julio o agosto. Los resultados obtenidos son positivos en cuanto a la cobertura del lote, no tanto por la materia

Gráfico 5. Especies elegidas como cultivos de servicio en 2019/20



seca lograda sino por la retención de rastrojo frente a las voladuras habituales. Con respecto al control de malezas, todavía no se observan efectos contundentes en la disminución de la frecuencia, pero sí en su tamaño, así como en la cantidad de agroquímicos utilizados para controlarlas. El centeno ha demostrado tener un bajo costo hídrico comparado con el barbecho habitual, lo que permite realizar la cobertura sin comprometer demasiado al cultivo siguiente.

La difusión del centeno como antecesor del maíz es menor debido a que genera una reducción en la disponibilidad de nitrógeno. En estas situaciones se opta por la siembra directa de vicia o vicia más centeno, este último con muy baja densidad. Según la bibliografía, *Vicia villosa* aportaría un buen nivel de nitrógeno al cultivo siguiente, aunque hasta el momento esto no ha sido determinado con seguridad. También se realizan experiencias zonales de secado con rolo de los cultivos de servicios, aunque con algunos interrogantes, ya que en varios casos se debió acudir a un repaso químico posterior.

Debido a la rotación predominante, prácticamente no hay lotes de centeno sembrados sobre rastrojo de soja que vuelvan a la oleaginosa. Hubo algunas experiencias en las que esta secuencia de cultivos alcanzó resultados productivos similares a la de maíz/soja. Esta sería una herramienta novedosa para defender la sostenibilidad del sistema frente a eventualidades del mercado, tal como sucedió antes de 2015 cuando, como consecuencia de la caída del precio del maíz, su siembra se volvió inviable en la región. En esa ocasión, al no contar con humedad adecuada para el trigo, la siembra de soja se repitió sin incorporación de gramíneas.

No es posible dejar de mencionar ciertas experiencias zonales en las que los cultivos estivales de renta posteriores a cultivos de servicios sufrieron considerables pérdidas, debidas probablemente al excesivo costo hídrico de estos últi-

mos en coincidencia con veranos muy secos. Es posible que la técnica utilizada no haya sido la más adecuada y que se haya finalizado tardíamente el cultivo de servicio, realizando una siembra de verano con el perfil poco cargado. Como toda herramienta, estos cultivos deben ser utilizados como parte de un proceso sin descuidar la sostenibilidad del sistema en su totalidad.

Ensayos 2019/20

Durante la campaña 2019/20 se realizaron de manera exploratoria diversos ensayos donde se monitorearon parámetros de interés en cuatro lotes de empresas CREA. En todos los casos se incluyó un testigo de barbecho químico. El objetivo fue generar información respecto del aporte que efectúan al sistema los cultivos de servicios para mejorar la toma de decisiones.

Todos los lotes fueron de centeno, dos se implantaron con sembradora de directa sobre la soja cosechada y dos en forma aérea sobre maíz tardío en pie.

Los resultados obtenidos difirieron notablemente entre sitios, en virtud de sus características particulares. El logro de materia seca al momento de secar el cultivo de servicio fue muy diverso, con valores de 800, 1700, 1800 y 7500 kg/ha en las diferentes situaciones evaluadas. A su vez, el control de malezas no resultó contundente en cuanto a la disminución de la frecuencia; sin embargo, se logró morigerar su desarrollo. Se destacó especialmente el sitio que obtuvo más de 7000 kg/ha de materia seca, donde el control de malezas fue excepcional. En los dos sitios en los que se pudo determinar el consumo de agua del centeno, éste fue entre 20 y 70 mm superior al del testigo con barbecho químico, en función de la materia seca lograda: 71 mm en el barbecho *versus* 144 mm en un centeno de siembra directa sobre rastrojo de soja con

7500 kg/ha de materia seca, y 55 mm en el barbecho *versus* 73 mm en un centeno volado sobre maíz en pie con 830 kg/ha de materia seca.

En la campaña y sitios evaluados, el agua disponible en el perfil al momento de la siembra y del período crítico del cultivo de renta fue similar o superior en la parcela con cultivos de servicios. Esto demostró que, en algunos casos, a pesar de lograr un escaso volumen de materia seca hubo mejoras en la captura del agua de las precipitaciones.

En cuanto al porcentaje de materia orgánica, la densidad aparente y la infiltración, no se observaron tendencias claras. Resta aún relevar los datos de rendimiento de los cultivos de renta y realizar la posterior evaluación de costos.

Reflexiones finales

Los técnicos de la región están convencidos de avanzar hacia un sistema productivo más sostenible, en beneficio de los productores agropecuarios y de la sociedad en general.

Aún persisten algunos interrogantes en relación a la utilización de cultivos de servicio; entre ellos están aquellos que refieren al uso del rolo para el secado y la consiguiente reducción en el uso de agroquímicos; su impacto sobre los nutrientes que serán utilizados por el cultivo de renta y la evolución a largo plazo de los parámetros físicos y químicos del suelo.

No es posible dejar de considerar al sistema en su conjunto, por lo que se destaca que esta herramienta debe integrarse con otras que también se están utilizando y que seguirán desarrollándose a futuro, como las aplicaciones dirigidas, el uso de franjas ecosistémicas funcionales y la incorporación de productos biológicos; todas ellas alineadas con la visión zonal.

Región NOA

■ Ings. Agrs. Laura Carabaca

Asesora del CREA San Patricio.

■ Sebastián Jakúlica

Asesor del CREA Las Maravillas.

■ Sebastián Vicié

Arcor, Ingenio La Providencia.

Los cultivos de servicios ocupan cerca del 10% de la superficie agrícola de la región NOA, donde registran una tendencia creciente que se acentuó en las últimas campañas. En el CREA Yungas, la principal actividad es la caña de azúcar (cultivo perenne). En sus esquemas de producción de caña orgánica utilizan *Vicia villosa* con el objetivo principal de manejar malezas, aunque también buscan hacer un aporte a la fertilidad de los suelos (nitrógeno) y lograr una reducción de la compactación de los suelos. Esta experiencia se viene desarrollando desde hace tres años en la zona de Simoca y en el sur tucumano. Con este objetivo, adaptaron la sembradora de fina, colocando los cuerpos a 1,6 metros y siembran en la trocha, en línea, utilizando 18-20 kilos de semilla por hectárea.

También se desarrollaron algunas experiencias de siembra con avión en plantaciones de caña previas a la cosecha, pero no fueron muy exitosas; en esos casos, se suele aumentar la densidad a 40 kg/ha de vicia; sin embargo, el principal problema del voleo es que el desarrollo de la vicia puede afectar al brote de la caña siguiente.

En los sistemas productivos del norte de Salta (grupo CREA Las Maravillas), los cultivos de servicios suelen usarse en lotes que tienen como destino el cultivo de poroto, ya que su implantación tiene lugar recién en febrero o marzo. En pri-

Foto 1. Siembra de *Vicia villosa* en caña de azúcar orgánica con el objetivo de controlar malezas y aportar fertilidad al suelo.



mavera, con temperatura y humedad disponible, se implanta un cultivo de servicio de ciclo corto o bien se lo genera por selección de pastos naturales a través del uso de herbicidas hormonales, una práctica habitual en la mayoría de los sistemas productivos poroteros de la zona.

En la actualidad existen productores que han innovado en las prácticas de cultivos de servicios, mediante el solapamiento de siembras aéreas sobre maíz o sorgo, o bien efectuando siembras mecánicas en lotes de liberación temprana, como aquellos que tienen como destino el picado o trilla húmeda de los cultivos de renta (poroto-chía-soja-maíz, poroto Mung, sésamo). Otros casos exitosos resultan de la consociación al momento de la siembra del cultivo de renta; en este caso de maíz con otra especie latifoliada, como *Brachiaria*. El objetivo es trillar el maíz y destinar la pastura resultante al pastoreo antes de la siembra de poroto en la campaña siguiente. Cabe destacar que se trata de sistemas productivos mixtos.

Las especies implantadas con éxito en la zona norte, ya sea en siembras solapadas o mecanizadas luego de la liberación temprana de lotes son: *Vicia villosa*, *Melilotus*, *Brachiaria* y moha (*Setaria itálica*). Con ellas se busca generar mayor infiltración, sombreado durante los meses del invierno y primavera, captación biológica del nitrógeno (específicamente en el caso de vicia y *Melilotus*), generación de biomasa e incorporación de carbono a los sistemas y, sobre todo, mantenimiento de la actividad del suelo con especies conocidas durante los meses de invierno y primavera.

En los sistemas de producción de granos de Tucumán, oeste de Santiago del Estero y sur de Salta la principal limitante para implantar un cultivo de servicio es la humedad remanente para el cultivo de renta del verano, ya que la región tiene un clima monzónico con estación seca y carece del aporte de lluvias invernales. Asimismo, es importante recuperar el agua en el perfil entre el secado del cultivo de servicio y la siembra del cultivo de renta.

En cuanto al agua disponible en el suelo al momento de sembrar los cultivos de servicios, en ensayos realizados durante cinco años en el establecimiento Santa Inés, ubicado en la localidad de Isca Yacu (Crea El Palomar), se reportaron valores promedio de 218 mm, considerando dos metros de profundidad (distribución homogénea en el perfil ya que 48% corresponde al primer metro; Lescano y Prieto Angueira, 2018). En el mismo trabajo, luego de evaluar la producción de materia seca, los autores reportaron para el centeno una eficiencia de uso del agua para producción de biomasa aérea de 22,6 kg/ha/mm. Por lo tanto, considerando esa humedad inicial promedio y que la capacidad de extracción promedio de esa especie es de un 70% de esa humedad (Prieto Angueira, comunicación personal), la biomasa aérea promedio alcanzable para la gramínea sería de 3500 kg/ha.

En cuanto a la variación en la producción de biomasa aérea, Lescano y Prieto Angueira (2018) reportaron, en un ensayo cuyo objetivo era evaluar la influencia del centeno secado en diferentes momentos sobre el rendimiento de soja, producciones de biomasa aérea de 1694, 3230 y 4839 kg/ha para secados realizados en encañazón, hoja bandera y espigazón, respectivamente.

Es importante destacar que, en ese mismo estudio, si bien el consumo de agua de los diferentes tratamientos con centeno fue superior a la evaporación del barbecho (76, 132 y 202 mm/ha, en el secado de encañazón, hoja bandera y espigazón, respectivamente), la eficiencia de captura del agua de las precipitaciones durante la primavera fue mayor que en el barbecho químico. Por lo tanto, el agua disponible a la siembra de soja y su posterior rendimiento no difirieron respecto del tratamiento sin cultivos de cobertura, lo que indica su factibilidad sin efectos negativos sobre soja como cultivo posterior.

Por lo general, en esta región la siembra de cultivos de servicios se planifica al salir de la soja o del poroto, ya que en esa situación se cuenta con mayor humedad en perfil. Además, en la mayoría de los casos con siembras en línea se logran coberturas más parejas (se siembran a 26 o a 52 centímetros), aunque también hay casos de siembras a voleo aéreas o con Altina (se realizan en marzo sobre cultivos de soja a cosechar, anticipando la fecha de siembra óptima). También se utilizan al salir de maíces picados para silaje (los lotes se desocupan desde mediados de abril).

Coberturas sobre maíz para grano que desocupan los lotes en julio son más difíciles de conseguir con éxito; suelen realizarse voleos aéreos pero los resultados de implantación son muy erráticos.

Cuando se consultó a los productores para saber si al planificar su cultivo de servicio tenían en cuenta el objetivo de su realización, el 84% contestó afirmativamente. En orden de importancia, los servicios ecosistémicos más buscados en la región CREA NOA son los siguientes:

- Disminuir la compactación.
- Mejorar la fertilidad química del suelo.
- Mejorar la infiltración.
- Aumentar la cobertura.
- Controlar malezas.
- Manejar nematodos u otros patógenos.

Con estas finalidades, las especies más utilizadas son: centeno, trigo, *Brachiaria*, *Vicia villosa* y garbanzo. Entre las especies consociadas figuran: vicia+ centeno y garbanzo + centeno.

El comportamiento de algunas de estas especies fue evaluado en el invierno de 2019 en el establecimiento Javicho S.A., localizado en la zona de Isca Yacu (en este lote continúa la evaluación del comportamiento del maíz posterior) junto con el equipo de Suelos de la EEAOC, liderado por Gonzalo Robledo, donde se pudo determinar la producción de materia seca y el consumo de algunas de esas especies y su uso consociado (cuadro 2).

Cuadro 2. Comportamiento de cultivos de servicios en Javicho S.A.							
Cultivo	Fecha de siembra	Siembra a 26 cm sem/m	Agua útil a la siembra*	Rto. MS (kg/ha)	Agua útil final*	Consumo (mm)	Kg de MS/mm
Barbecho	27-4 al 2-5		84		22	62.1	0
Centeno + garbanzo	27-4 al 2-5	30c + 11g	109	6700	0	109	61
Centeno + Vicia	27-4 al 2-5	30c+ 20v	111	6546	0	110	59
Vicia	27-4 al 2-5	14	119	6428	3	116	55
Garbanzo	27-4 al 2-5	8	114	7549	5	109	69
Centeno	27-4 al 2-5	40	106	5721	0	106	54

*Las mediciones de agua útil son a 1,5 m de profundidad de perfil.

Otra especie utilizada como cultivo de servicio es rabanito forrajero, con el objetivo de contrarrestar el efecto negativo de la población de nematodos presentes en el suelo. Los primeros resultados medidos a campo con el uso de dicho cultivo son alentadores, hallándose disminuciones del 50% o más de la población presente al inicio del cultivo (julio de 2019) vs. la evaluación en el cultivo posterior (maíz) siete meses después (febrero de 2020). Se trata de datos preliminares que seguirán siendo evaluados en lotes con esta problemática.

En los últimos cinco años se respondieron diversos interrogantes que planteaba la incorporación de cultivos de servicio a los sistemas de la región, sobre todo aquellos vinculados a la economía del agua. Sin embargo, aún quedan preguntas por responder: ¿Es posible establecer relaciones funcionales que permitan predecir la producción de biomasa de los cultivos de servicios en función del agua disponible a la siembra? ¿Se modifican estas relaciones con la especie? ¿Es posible mejorar propiedades físicas y químicas del suelo? ¿Qué producciones de biomasa deben alcanzar estos cultivos para modificar las variables mencionadas? ¿Pueden contribuir a mejorar los rendimientos de maíz las especies con capacidad de fijar nitrógeno? ¿Pueden los cultivos de servicios contribuir al manejo de malezas problema?



Región Oeste

■ Ing. Agr. Leandro Granieri

Representante de la región Oeste en la Mesa de Planes Nacionales del Movimiento CREA.

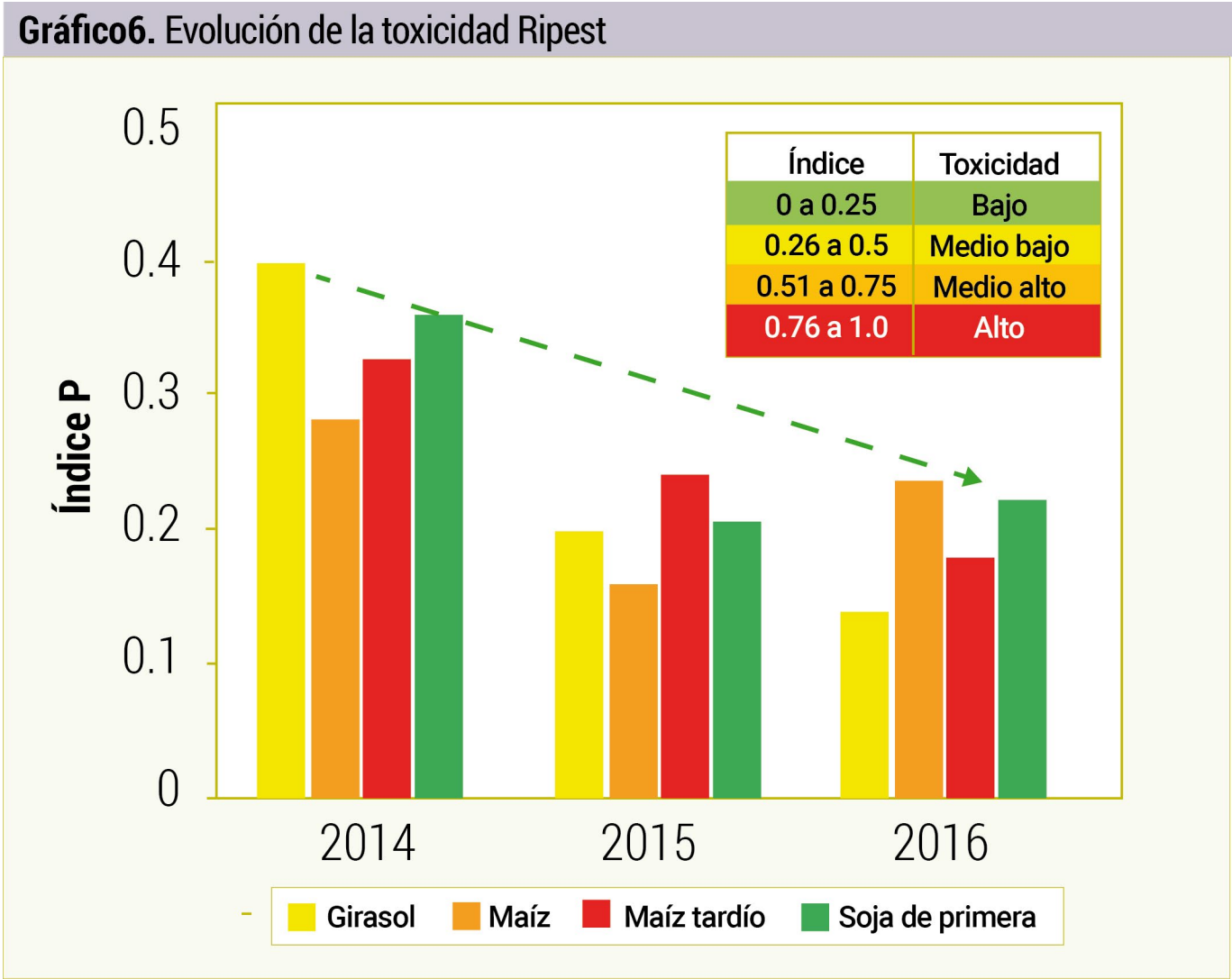
En la región CREA Oeste hay gran consenso entre productores y técnicos respecto del cambio de paradigma que se encuentra en marcha en relación al modo de producir. Si bien no hay certezas respecto del rumbo que asumirán estos cambios, sin dudas contemplarán un mayor equilibrio de los pilares de la sostenibilidad, considerando a la producción y su entorno en un sentido amplio.

Es difícil poner un punto de partida al trabajo que varias empresas de la zona vienen realizando en esta temática. Sin embargo, es posible identificar ciertos procesos que se encuentran en esta línea de trabajo.

Buenas prácticas agropecuarias

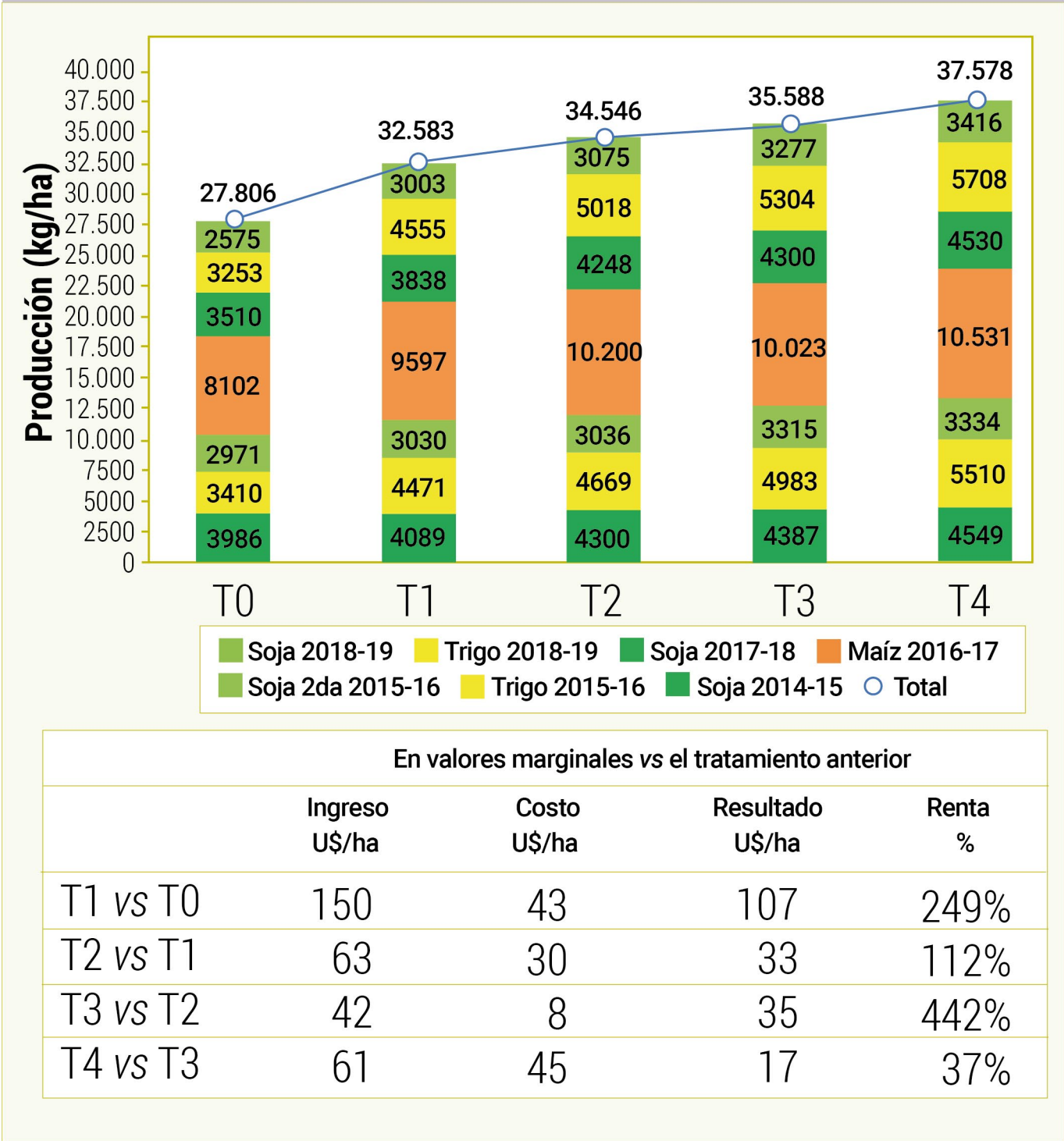
Son muchas las empresas que se encuentran trabajando en la mejora de sus procesos productivos contemplando buenas prácticas agrícolas, incluso previamente al surgimiento de la Red BPA. La creciente tolerancia y resistencia de las malezas, combinada con una mayor demanda social respecto del uso de fitosanitarios y una mejora en la eficiencia de los procesos productivos, ubicó a las pulverizaciones en el centro de la escena, derivando en una revisión del proceso productivo en su totalidad. Esto determinó que distintos actores se involucraran en los ámbitos locales generando espacios para el tratamiento de estos temas, incluso de legislaciones municipales. Resta mucho por hacer, pero, sin dudas, la adecuada implementación de buenas prácticas bajo normativas consensuadas es parte de la salida. A nivel de los grupos

cabe mencionar la incorporación del análisis de la evolución de la toxicidad de las campañas agrícolas en cada empresa (gráfico 6).



Los cambios en dirección hacia una agricultura continua generaron consecuencias que adquirieron gran relevancia en los últimos años, sobre todo en lo que respecta al deterioro químico de los suelos. La variación temporal de la fertilidad, además de la espacial, estuvo siempre presente en el radar de los productores de la zona y los condujo a adoptar estrategias de fertilización diferentes y a realizar experimentación a nivel local. Así fue que desde el año 2014 se implementó una red de larga duración donde se compararon estrategias de nutrición de la rotación en siete sitios. En el gráfico 7 se presentan los resultados de cinco años contrastando las siguientes estrategias de nutrición: *baja tecnología* (T1), *suficiencia* (T2), *suficiencia con azufre* (T3), *reposición con azufre* (T4) y *testigo* (T0).

Gráfico 7. Red de ensayos de larga duración de estrategias de nutrición



Es importante destacar el gran impacto que generó esta red en la actividad de los empresarios de la región CREA Oeste, especialmente en lo que respecta a la adopción de estrategias de fertilización con agregado de azufre y reposición de fósforo. A futuro, está planificado continuar con una nueva red de ensayos que incorporará experimentación con macro y micronutrientes y la utilización de enmiendas que aún no han sido explorados sobre los tratamientos T3 y T4 de la actual experiencia.

Módulos de experimentación

En los últimos años, la región Oeste, a través del CREA 30 de Agosto-Mari Lauquen, generó un convenio de Co-Innovación con el INTA para instrumentar en conjunto Módulos de Experimentación de Larga Duración cuyo objetivo es generar cambios en los sistemas productivos actuales, con énfasis en la reducción del uso de insumos y en un manejo más sostenible.

La vinculación con la EEA Anguil (en particular con el equipo de Alberto Quiroga) permitió obtener un diagnóstico de la evolución de los parámetros edáficos tras 20 años de agricultura continua. Las principales conclusiones de estos ensayos son las siguientes.

- No se observaron grandes cambios en los porcentajes de materia orgánica dependiendo del lote y de su historial de rotación. Se utilizó el Índice Estructural (IE) o Índice de Materia Orgánica (IMO= $MO\% / (\text{arcilla } \% + \text{limo } \%) * 100$) como indicador de deterioro según la textura.
- Fuerte caída en los niveles de P-Bray: si bien es variable hay ambientes con valores inferiores a 5-6 ppm.
- Disminución del pH.

A partir de este diagnóstico se definieron las estrategias y prácticas para los distintos módulos:

- Secuencias de cultivos intensificadas que combinaron cultivos con y sin cosecha.
- Menor uso de insumos: cultivos de cobertura y diferentes estrategias de control malezas.
- Fertilización para remediación: dolomita y fósforo.

Luego de la primera campaña, el abordaje interdisciplinario de los módulos (biología suelos, malezas, química y física de suelos, raíces) ofreció algunos aprendizajes y resultados parciales interesantes:

- Reducción del riesgo toxicológico (valor P de Ripest): se detectó una disminución del 30% con mínimo uso de herbicidas respecto del sistema clásico.
- Mayor importancia del monitoreo poblacional de plagas: se detectó una importante presión de cortadoras en coberturas, con mermas de hasta 40-50% plantas de maíz.
- Impacto en la infiltración: en coberturas de leguminosas se detectó un 40-50% más que en barbecho químico, mientras que en achicoria ese valor ascendió a un 90%.
- Impacto diferencial de las coberturas: se identificó un menor logro y producción en coberturas sobre coberturas con gramíneas del año anterior. No ocurrió lo mismo con vicia pura.
- El uso del rolo puede tener cierta penalidad de humedad a la siembra (20 mm), aunque a cosecha la ecuación se revierte.
- El uso de rolo en lugar de “quemado” químico de las coberturas generó una mayor degradación del rastrojo al final del cultivo de gruesa.
- El diagnóstico de nitrógeno tradicional es insuficiente con antecesores de cobertura.

Uno de los aprendizajes más importantes de la experimentación realizada es que las estrategias no deben ser fijas. Es muy probable que la mejor opción surja de la combinación herramientas.

Manejo de sistemas mixtos

Es interesante analizar la experiencia del CREA Ameghino, que, a diferencia de otros grupos de la zona, mantuvo la coexistencia en el tiempo de agricultura con pasturas y verdeos. En la actualidad, las pasturas y los verdeos ocupan una superficie importante del CREA, incluso en los ambientes con aptitud agrícola (33% pasturas con rotaciones 4 x 8). Los factores de ocupación en la rotación son significativamente elevados, con evoluciones probablemente inversas a las de otros sistemas de agricultura continua.

Los verdeos constituyen una actividad competitiva en ambientes intermedios donde el doble cultivo resulta muy errático; sin embargo, esto no ocurre en ambientes de mayor potencial. Con el correr de los años se han incorporado al manejo algunos ajustes clave que permitieron eliminar la penalidad histórica de 3 qq/ha de merma de rinde: momentos de secado hasta mediados de septiembre para asegurar la recarga; ubicación de las fechas de siembra una vez que se ha realizado una recarga adecuada, y un remanente suficiente para cumplir con los servicios de supresión de malezas, “mulch” y aporte de carbono.

Entre los aspectos positivos de los antecesores verdeos se destaca el control de malezas de invierno (especialmente de *Coniza sp.*), el ahorro de barbecho químico y una mayor ventana de siembra en años de excesos hídricos. En el cuadro 3 se puede observar el rinde promedio de las últimas cinco campañas, el impacto en los gastos directos y el margen bruto marginal por el aprovechamiento del verdeo.

Cuadro 3. Margen bruto de soja con y sin verdeo en ambientes sin limitantes.
Promedio de cinco años

		Verdeo		Soja Int.	Soja 1ra.
Prod. V.I	Kg MS/ha	3000			
Prod. carne	Kg/ha	314	Rend (qq/ha)	37.8	37
GDPV	Kg/cab/día	0.7			
IN	u\$/kg	1.16	u\$/qq	19.2	19.2
	u\$/ha	363	u\$/ha	72.6	710
GD	u\$/ha	146	u\$/ha	299	310
MB	u\$/ha	217	u\$/ha	427	400
MB Verdeo/Soja 5 años				643	más 61%

Consideraciones finales

El mayor desafío no es generar sistemas más sostenibles dentro del Movimiento CREA sino también fuera de él, más aún si se considera que la mayor producción se realiza en campos de terceros con formato anual. Las buenas prácticas agrícolas aplicadas junto con una adecuada implementación de la normativa vigente son la vía para generar un cambio real dentro de los sistemas productivos actuales. Tenemos por delante, como productores y como sector, generar una buena comunicación con la sociedad en su conjunto para alcanzar el consenso que estos cambios requieren.

Región Oeste Arenoso

■ **Ing. Agr. José Micheloud**
Responsable Técnico de Agricultura de la región CREA Oeste Arenoso.

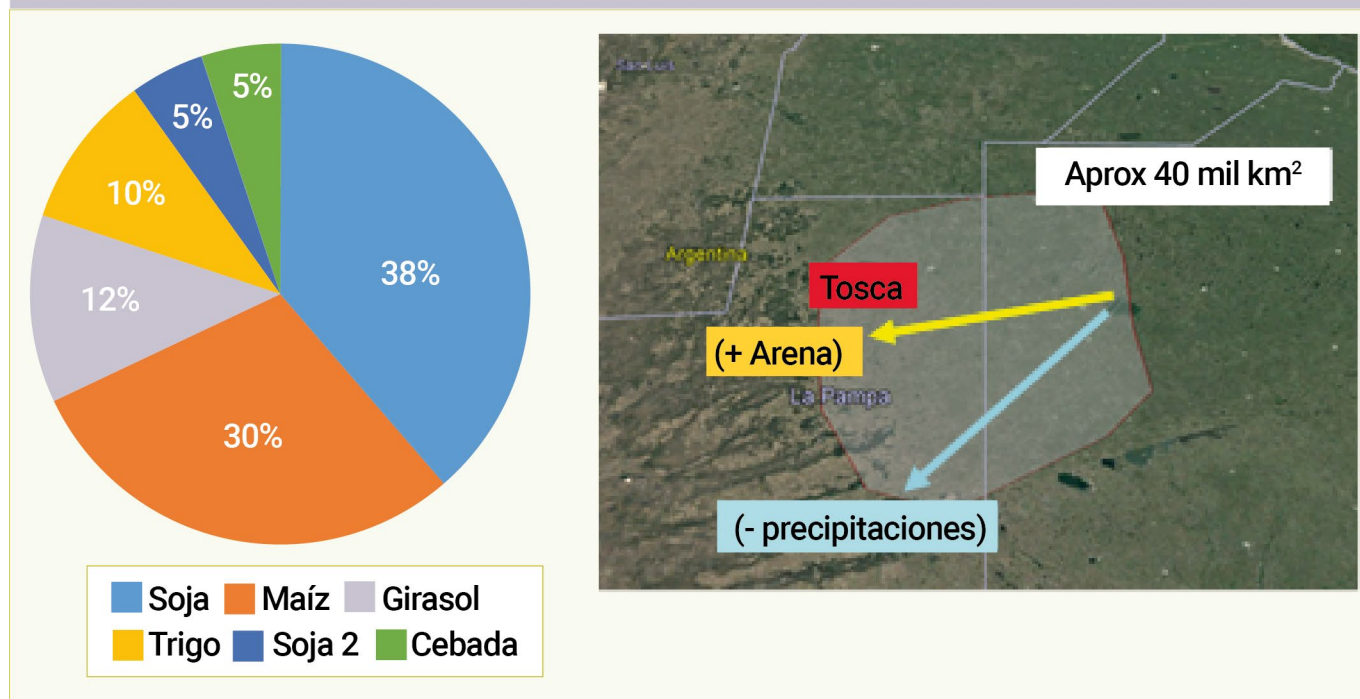
Históricamente, la región Oeste Arenoso se ha involucrado en la producción a través de sus miembros y técnicos persiguiendo la sostenibilidad de los sistemas productivos. A pesar de ello, ciertas propiedades emergentes de los siste-

mas vuelven necesario profundizar en la generación de conocimiento útil para desarrollar un manejo adecuado. En este contexto, desde hace casi 30 años se trabaja junto con INTA para generar información experimental de largo plazo que permita incrementar el conocimiento de esta problemática e instalar una visión sistémica.

En la región coexisten establecimientos ganaderos puros, empresas mixtas, y otras exclusivamente agrícolas, por lo que la visión sistémica no considera únicamente a los cultivos, sino también su interacción o integración con la actividad pecuaria. Con respecto a los cultivos extensivos, en el Oeste Arenoso se siembran aproximadamente 150.000 hectáreas que se distribuyen principalmente entre soja de primera y de segunda, maíz, girasol, trigo y cebada (gráfico 8a). Su participación es variable, dependiendo de las características agroclimáticas de las distintas subzonas (gráfico 8b). Hacia el este y norte de la región, la proporción de gramíneas en la rotación se sostiene principalmente sobre la base de la inclusión de maíz y trigo. En el oeste y el sur, donde los dobles cultivos trigo/soja o cebada/soja encuentran más restricciones, una parte de los cultivos invernales de cosecha es reemplazada por la inclusión de centeno, vicia y tricipiro, que concentran el 70, 25 y 5% de la superficie de cultivos de cobertura, respectivamente. Por esta razón, las rotaciones incluyen habitualmente cultivos de cobertura, maíz, soja y girasol. La proporción de soja en las rotaciones también disminuye hacia el sudoeste, debido principalmente a las restricciones hídricas que se exploran en esos ambientes.

Más allá de estas tendencias generales, las rotaciones son dinámicas y pueden modificarse en virtud de las características particulares de cada campaña (sequía, anegamiento, influencia de napa, entre otros factores); sin embargo, conservan siempre los diferentes elementos de una rotación buscando mantener un eje de sostenibilidad.

Gráfico 8. a) Porcentaje de superficie por cultivo 2017/18 (b) Gradiente ambiental de la región



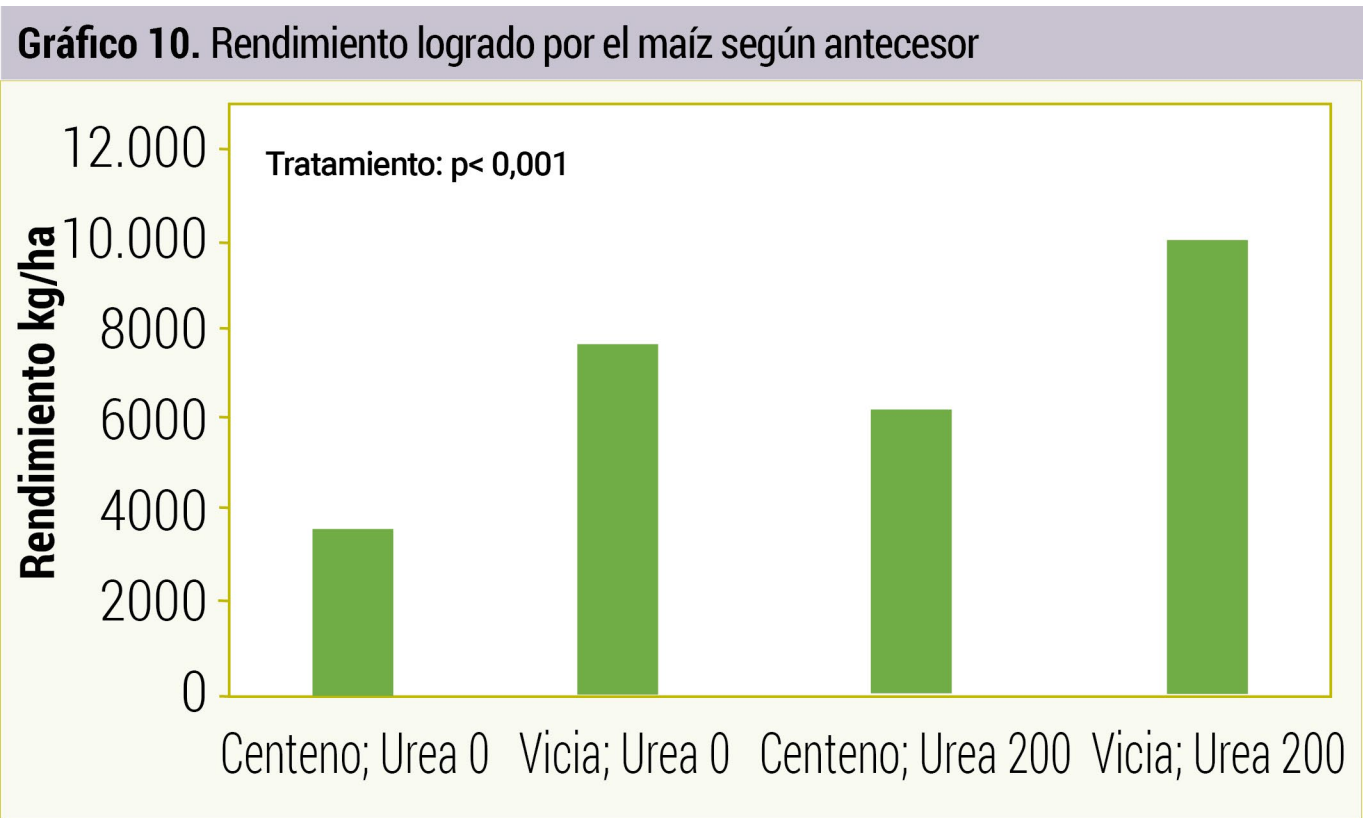
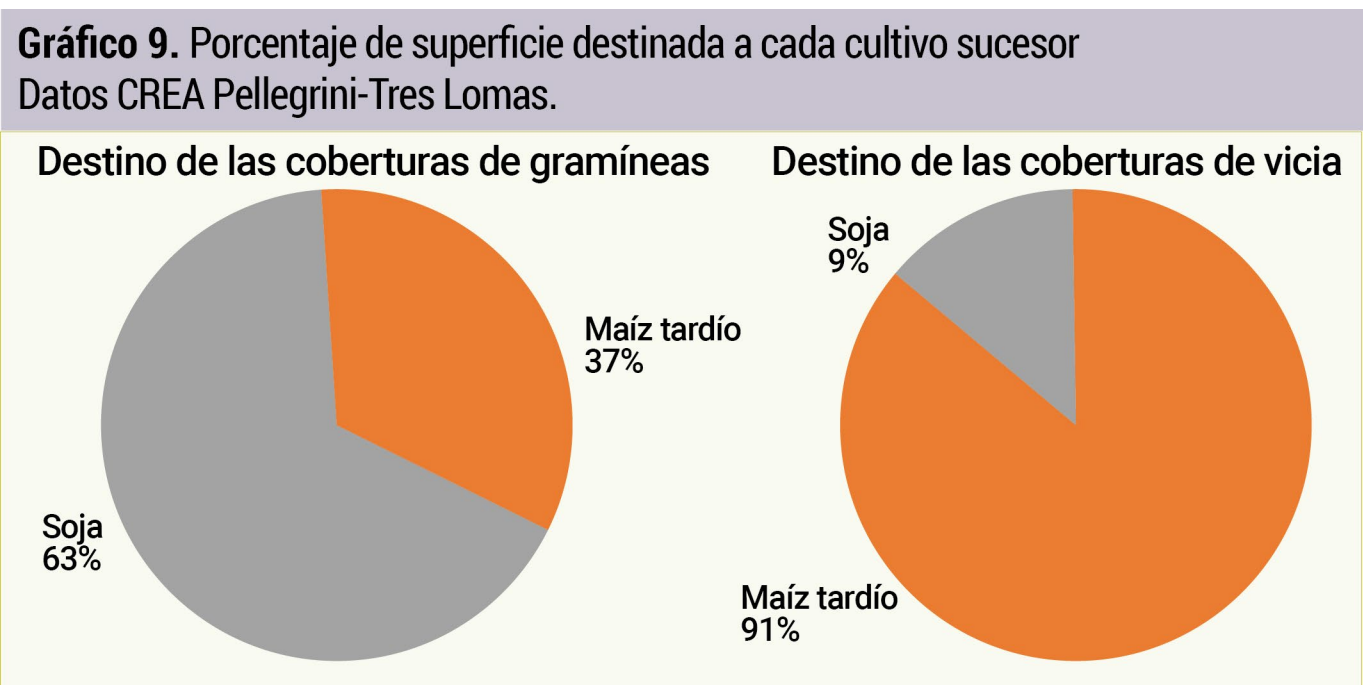
Dentro de este esquema, el uso de cultivos de cobertura persigue distintos objetivos. En buena parte de las situaciones, la intención es aportar carbono o nitrógeno al sistema y contribuir a mejorar el control de malezas y la erosión, tanto hídrica como eólica, que se manifiesta en buena parte de la zona. Si bien el uso de esta herramienta se encuentra ampliamente difundido, algunas empresas no lo ponen en práctica por cuestiones de costo; en otros casos lo implementan, pero con baja tecnología. En este contexto, junto al equipo de suelos de INTA Anguil se buscó generar información de utilidad para asistir a los productores en la toma de decisiones de manejo de las rotaciones en general, y de los cultivos de cobertura en particular.

Por lo general, el destino de las coberturas de gramíneas es soja, mientras que el de las coberturas con leguminosas suele ser maíz (gráfico 9), buscando incrementar la disponibilidad nitrogenada para este último cultivo. De este modo es posible reducir la cantidad de nitrógeno agregado a través de la fertilización.

Al comparar el impacto de distintas especies sobre el rendimiento del cultivo posterior, el rinde de maíz sobre antecesor

vicia superó al centeno en casi 4000 kg/ha, cuando el maíz no se fertilizó con nitrógeno. Incluso al agregar 200 kg/ha de urea al maíz sobre antecesor centeno no fue posible alcanzar el nivel de rendimiento logrado por el maíz sin fertilizar sobre antecesor vicia (gráfico 10).

Otra clave en el manejo de las coberturas reside en las fechas de siembra y de secado. De este modo se puede generar cobertura, biomasa o una cantidad de nitrógeno suficien-



Fuente: Elaboración propia sobre la base de resultados de experimentación del equipo de Suelos del INTA Anguil y del CREA Pellegrini-Tres Lomas, 2019.

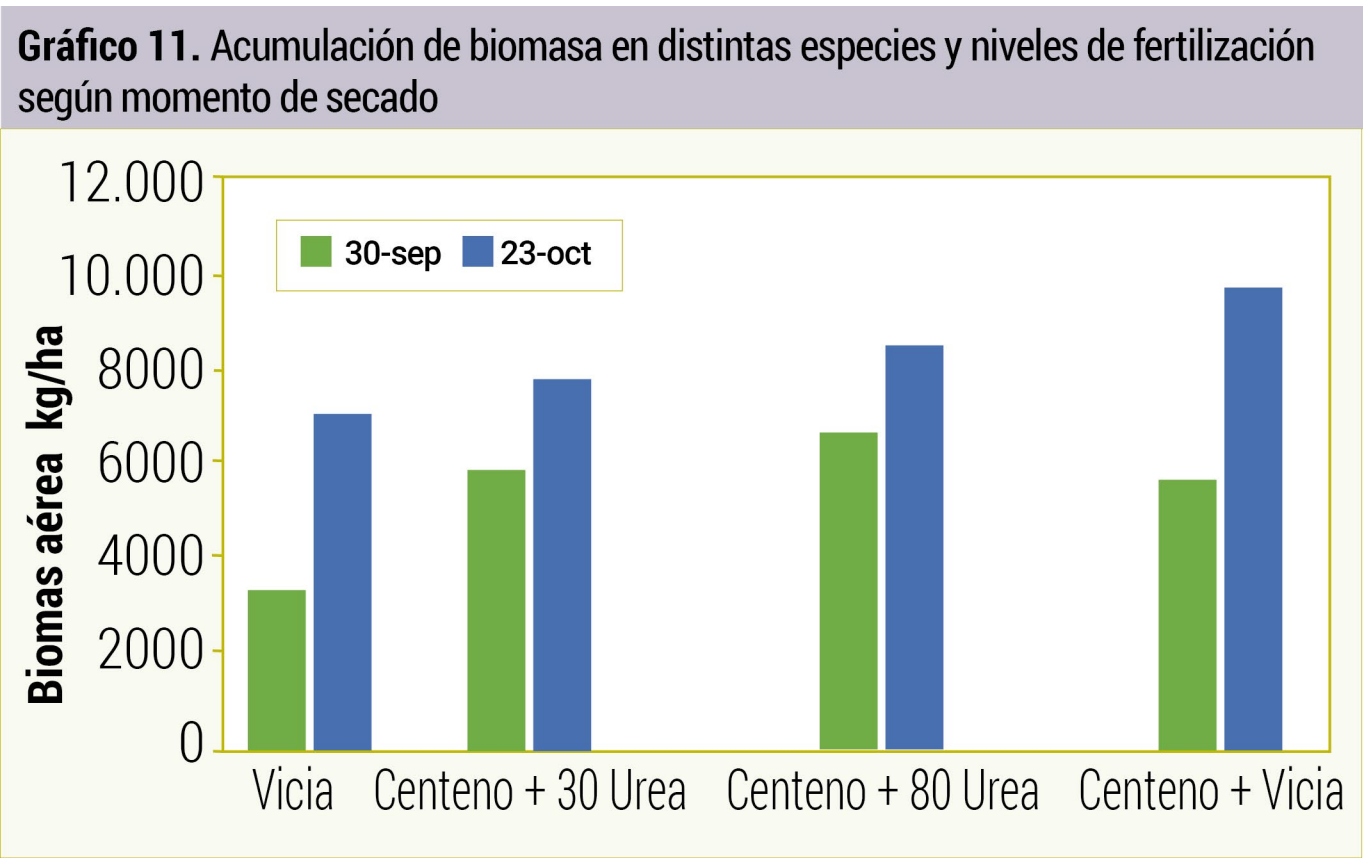
te según los objetivos planteados, pero, además, es posible minimizar el impacto negativo sobre el cultivo siguiente, que podría producirse por un excesivo consumo de agua.

Por lo general, el secado se realiza a principios de octubre, aunque las condiciones particulares de la campaña podrían llevar a adelantarlo, por lo que casi siempre se realiza en forma química (gráfico 11).

Habitualmente las fechas de siembra tienen lugar desde mediados de marzo hasta fines de abril y pueden realizarse sobre rastrojo de girasol o sobre soja o maíz en pie, en cuyo caso se utilizan siembras aéreas o terrestres con maquinaria específica.

Siguiendo con el manejo, la densidad de siembra buscada es de 140 a 160 pl/m² en gramíneas; 50 a 70 pl/m² en vicia, y 100 a 120 pl/m² en mezclas.

A pesar de las respuestas observadas, la fertilización de las coberturas aún no se ha generalizado. Se aplica únicamente



Fuente: Elaboración propia sobre la base de resultados de experimentación del equipo de Suelos de INTA Anguil y del CREA Pellegrini-Tres Lomas, 2019.

en casos aislados, con niveles bajos de urea en gramíneas (50 a 70 kg/ha) y fósforo en vicia, cultivo en el que se identificaron mejoras en el nivel de nodulación y crecimiento.

Tal como se mencionó, la región Oeste Arenoso es una zona mixta. A partir de los trabajos realizados con INTA se ha determinado que los cultivos de cobertura no compensan el nivel de aporte al sistema que efectúan cultivos perennes como las pasturas. Tampoco ocurre lo mismo en términos del balance de carbono, ni en el impacto sobre las propiedades físicas del suelo, sobre todo en texturas arenosas como las que prevalecen en la zona.

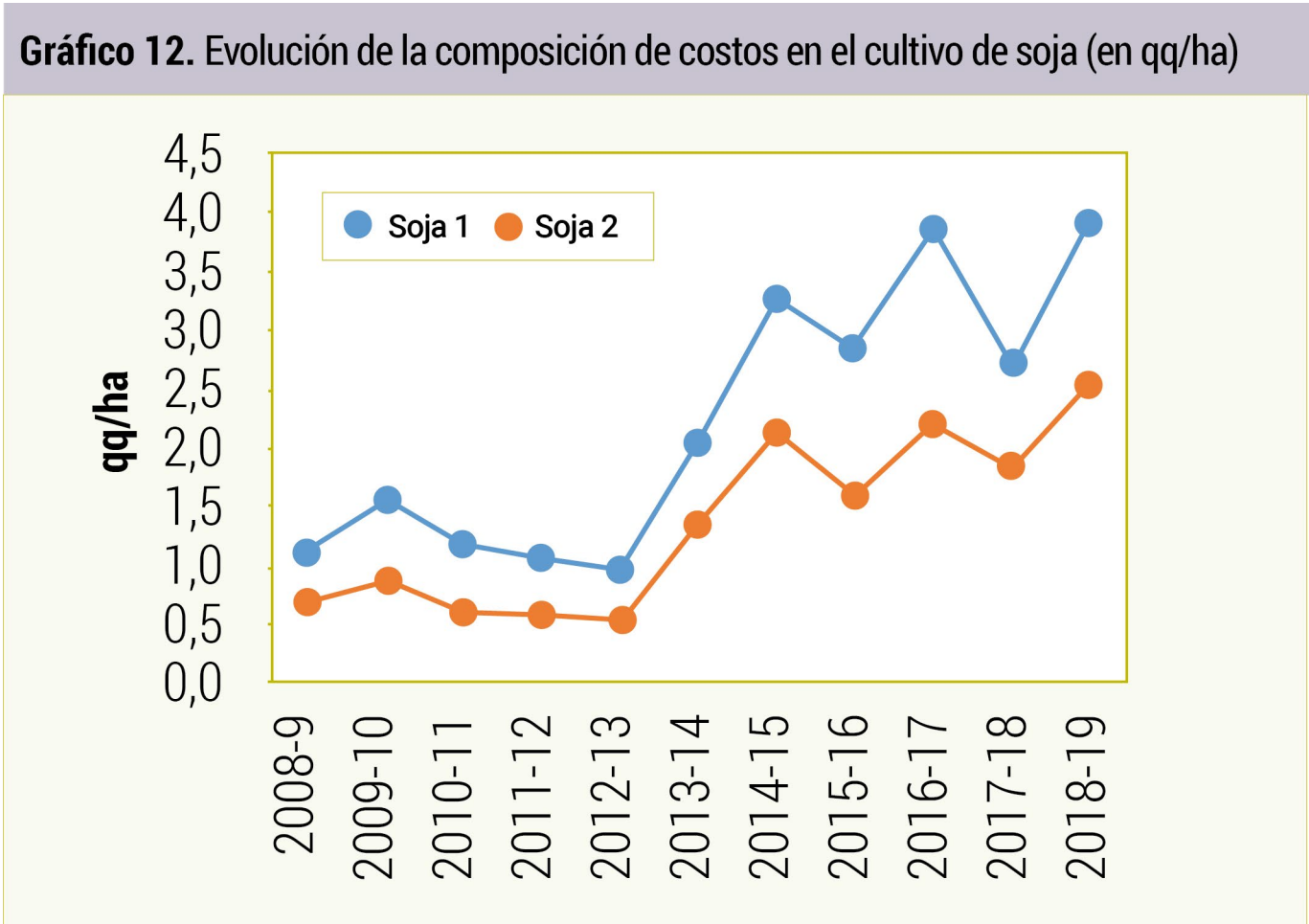
Aún quedan interrogantes por responder acerca del manejo de las coberturas y del sistema en general, por ejemplo, en lo que respecta a la sincronización de la oferta y la demanda de nutrientes, la supresión efectiva de malezas, etcétera. El principal aprendizaje que destacan técnicos y productores es que es fundamental tener claro el objetivo de su inclusión en las rotaciones. En función de esa meta se definirá la especie, la variedad, el nivel tecnológico por utilizar y la fecha de secado. Con respecto al manejo de las rotaciones, el desafío es lograr mayor diversidad en función de las condiciones agroecológicas de cada subzona para minimizar externalidades negativas y favorecer las positivas.

Región Sur de Santa Fe

■ **Ings. Agrs. Adrián Rovea, Franco Permingeat,
Vanesa Loza, Diego H. Pérez, Ricardo Pozzi y Santiago Gallo**
Técnicos de la región CREA Sur de Santa Fe.

El crecimiento exponencial de la problemática de malezas resistentes en la región Sur de Santa Fe provocó un aumen-

to significativo del costo de herbicidas en el cultivo de soja, con controles que, además, no resultaban del todo satisfactorios (gráfico 12). Adicionalmente, la degradación física, química y biológica de los suelos, con el consecuente aumento de la fertilización en cereales, sumado a la problemática del ascenso de las napas freáticas le *puso un freno* al modelo convencional. Era necesario repensar el sistema, por lo que comenzaron a analizarse nuevas herramientas de manejo de estas variables, entre ellas, el uso de cultivos de servicios.



Fuente: Datos del CREA Las Petacas.

CREA Las Petacas (norte de la región)

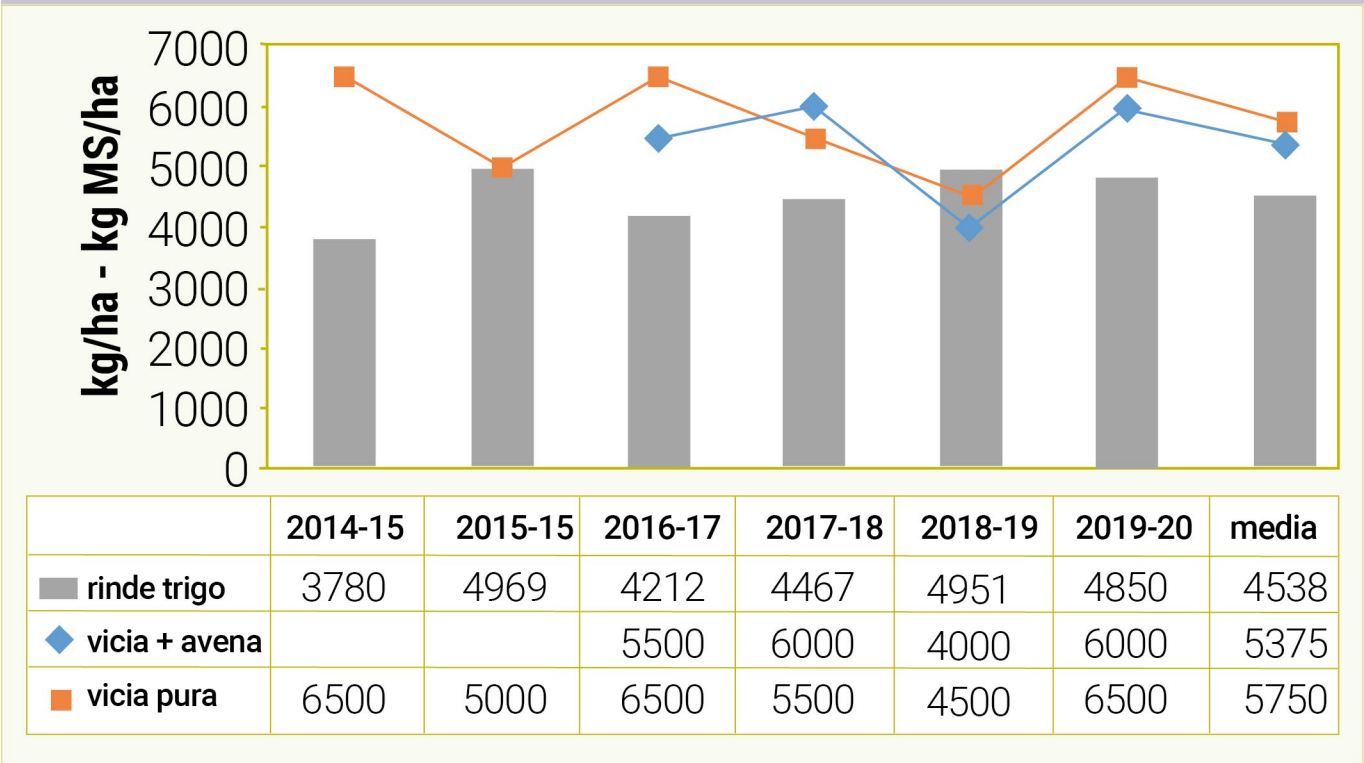
A modo de ensayo, en el año 2013 se empezaron a probar diferentes especies de cultivos de servicios con el objetivo de observar el comportamiento de las malezas, la dinámica de nitrógeno y la recarga de agua útil en el perfil. Como los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios, se decidió incorporar una superficie mayor dentro las empresas. Una de las maneras de ganar superficie y experiencia se generó a partir de la posibilidad de producir en los campos semilla de vicia

y de avena, con rendimientos de 400 a 2500 kg/ha y de 2600 a 3000 kg/ha, respectivamente. De esta manera se redujo el costo de realización de los cultivos de servicio.

Como una parte del maíz se realiza en diciembre, el cultivo de vicia ingresa con comodidad en la rotación. Lo mismo ocurre con el barbecho previo al cultivo de soja de primera con fechas de siembras de noviembre (1-20/11), que permite utilizar mezclas de avena y vicia sobre los escasos lotes de maíz temprano que se implantan en agosto-septiembre con siembras aéreas de febrero/marzo (al igual que sobre maíces de diciembre) logrando períodos de crecimiento de 150 días (+/- 20 días según precipitaciones y perfil hídrico).

Teniendo en cuenta estas fechas de siembra de los cultivos de grano, los cultivos de servicios (avena o avena + vicia) tuvieron la posibilidad de expresar todo su potencial: en el caso de lotes que se destinaban a soja de primera, el ciclo se cortó el 15-20 de septiembre logrando una producción de alrededor de 6000 kg/ha de materia seca. En el caso de lotes que se destinaron a maíz (diciembre) se logró una producción similar con vicia pura (gráfico 13).

Gráfico 13. Producción de materia seca de cultivos de servicio en el CREA las Petacas También se indican los rendimientos de trigo en las mismas campañas.

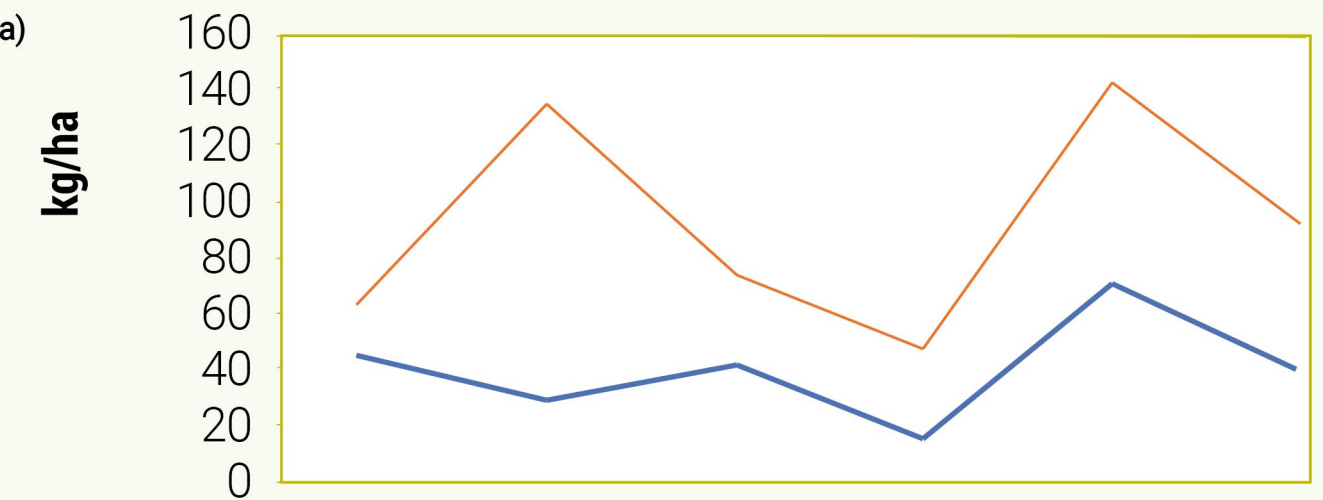


Las buenas producciones logradas permitieron alcanzar los servicios ecosistémicos buscados, superando los 4000 kg/ha que se establecieron como umbral. De este modo, se comenzó a utilizar estos cultivos -trigo y avena, vicia- como “bombas de agua” en lotes donde la napa se encontraba por encima del metro de profundidad. De esta forma, se generó un poder “buffer” de absorción de las precipitaciones en lugar de mantener el barbecho químico con el perfil saturado, lo que generaría movimientos de napas mucho más bruscos y riesgosos para la producción.

Disponibilidad de nitrógeno

En virtud del cultivo antecesor se observaron grandes diferencias en los niveles de nitrógeno del suelo. También se identificaron diferencias en el nitrógeno incubado en forma anaeróbica (Nan) (gráfico 14 a y b).

Gráfico 14. (a) Evolución de la disponibilidad de nitrógeno en suelo (0-60 cm) y (b) Evolución de los valores de Nan sobre dos antecesores



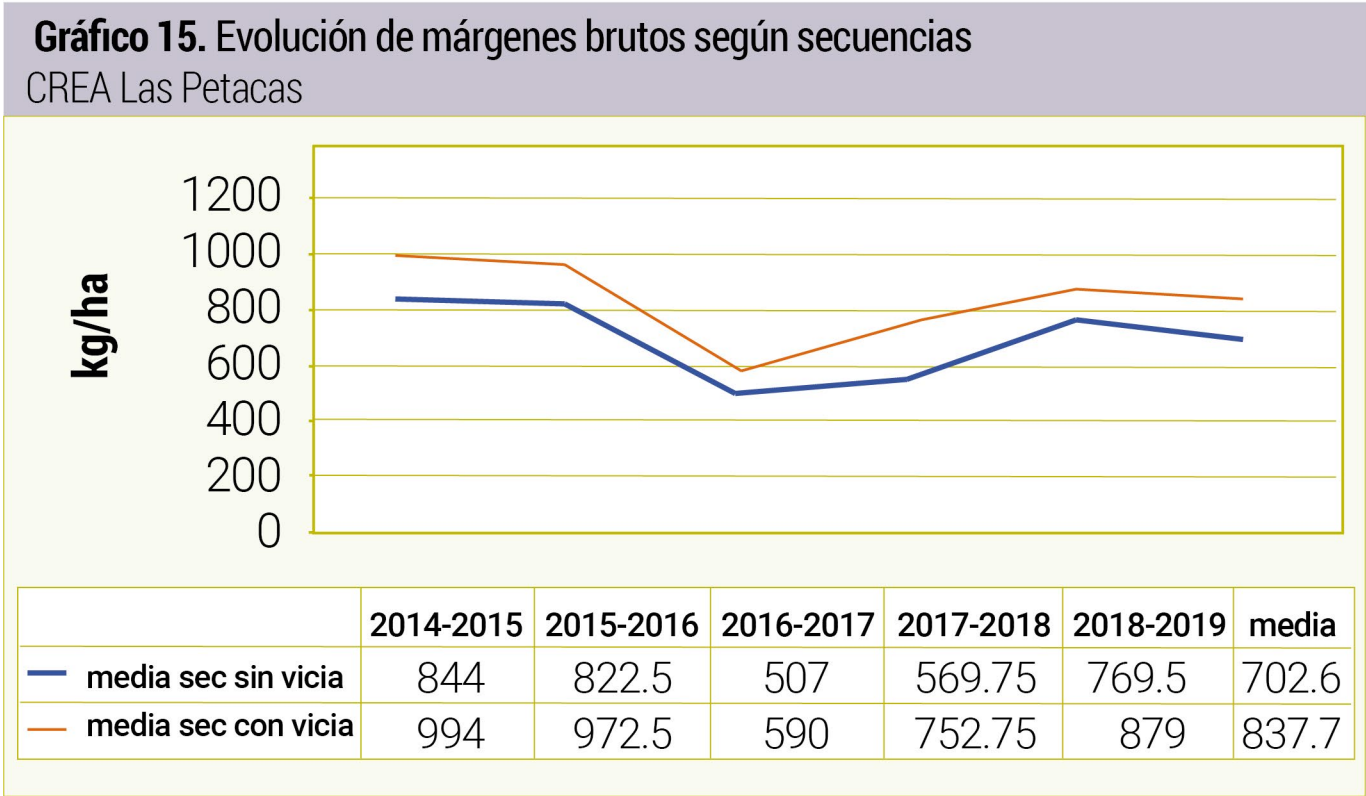
	2015	2016	2017	2018	2019	media
trigo	45.9	29.7	41.8	16.1	70.9	40.88
vicia	64.8	137	75.6	47.7	145	94.02

b)

Nan	2015	2016	2017	2018	2019	Prom.
Trigo	35	52	40,1	56,9	30,5	42,9
Vicia	65	90	80	73,5	79	77,5

Evolución de márgenes brutos

Se observaron diferencias en los márgenes brutos de las secuencias de cultivo que incorporaron cultivos de servicio respecto de aquellas que no lo hicieron. En el gráfico 15 se comparan los márgenes de secuencias de cultivos que tuvieron como mínimo un cultivo de vicia *versus* lotes sin vicia.



CREA Ascensión (sur de la región)

En el CREA Ascensión se generaron dos líneas de trabajo buscando revertir la falta de rotación: uso de gramíneas invernales y maíces tardíos. Ambas técnicas nos han dado resultados muy satisfactorios tanto en términos de resultados físicos como económicos. En la región están convencidos de que para que una técnica progrese debe ser simple y escalable. Ambas alternativas cumplen con estas premisas.

Las primeras líneas de trabajo en cultivos de cobertura consistieron en evaluar las especies invernales e identificar el paquete tecnológico por aplicar como antecesores de soja de primera y maíz tardío. Su diseño fue fruto del trabajo de la Red de Nutrición de la región. Así se descubrió el impacto del

reciclaje de nutrientes desde las gramíneas hacia las leguminosas. El objetivo principal fue identificar si los cultivos de cobertura fertilizados con nitrógeno, fósforo y azufre permitían generar resultados similares.

La fertilización de los cultivos de cobertura permitió incrementar la biomasa área y radical, favoreciendo una mejora en la infiltración, una mayor supresión de malezas y el reciclaje de nutrientes, lo que, a su vez, se tradujo en un mayor rendimiento de los cultivos sucesores.

En la actualidad, las empresas del CREA Ascensión migraron hacia sistemas de producción más intensificados: trigo/maíz de segunda-soja de primera o trigo/soja de segunda-maíz temprano (rotación de dos años), con el 50% de ocupación con cultivos de invierno. También se explora otra alternativa de mayor intensificación: trigo/soja de segunda-trigo/soja de segunda-maíz temprano (rotación de tres años), con el 66% de cultivos de invierno. Tras analizar las ventajas de esta tecnología se advierte que es posible producir cuidando los recursos naturales y el ambiente.

Región Chaco Santiagueño

■ Salvador Prieto Angueira

INTA EEA Santiago del Estero y Facultad de Agronomía y Agroindustria, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

■ María Clara Berton

INTA EEA Quimilí,

■ Javier Ventura

Monte Buey Agropecuaria S.R.L.

La región Chaco Santiagueño se encuentra ubicada en la ecorregión Chaco Seco. Climáticamente, se caracteriza por

ser mesotérmica, con precipitaciones medias anuales que se incrementan de oeste a este (650 a 1100 mm anuales) y un régimen de lluvias de tipo monzónico (un 75% se concentra en el semestre cálido). Como consecuencia del patrón de variación de las precipitaciones y de la evapotranspiración de referencia, la zona tiene deficiencias anuales de entre 200 y 500 mm, que le confieren características semiáridas (en el sector oeste, que abarca prácticamente la totalidad de la superficie de Santiago del Estero) a subhúmedas (sector este, que involucra parte de Santiago del Estero y la totalidad de Chaco).

Las rotaciones características se basan en la utilización de soja y maíz con distinta frecuencia; en general, soja-maíz o soja-soja-maíz (ambos representan el 82% de la superficie de cultivos estivales). Estas rotaciones se modifican en función de las lluvias de otoño e invierno, ya que éstas modulan la incorporación de girasol y trigo en la rotación (en promedio, en esta época se siembra el 29% de la superficie de verano).

Cuando las precipitaciones no lo permiten, el período sin cultivos puede durar siete u ocho meses. La longitud de los períodos de barbecho es una característica negativa del Chaco Santiagueño, ya que determina que el control de las malezas resulte más difícil y oneroso.

Tras su incorporación a la actividad agrícola, los suelos de la zona sufrieron pérdidas en el contenido de materia orgánica. Por lo tanto, no sólo se redujo la disponibilidad de nutrientes sino también la porosidad y estabilidad estructural del suelo, lo que provocó densificaciones en las capas edáficas. Estos procesos derivaron en una menor infiltración, en una mayor resistencia a la exploración radical y, consecuentemente, en una menor disponibilidad de agua, recurso que determina la productividad de los cultivos, pero también la intensidad de la rotación.

Para evitar estos impactos negativos, los productores comenzaron a incorporar prácticas que buscan maximizar el aporte de restos vegetales para mantener niveles adecuados de materia orgánica. De este modo, en los últimos años se incrementó la siembra de cultivos de cobertura invernales que interrumpen los largos períodos de barbecho y se convierten en verdaderos aliados de la sostenibilidad, dado que mejoran la competencia contra las malezas, aportan nitrógeno a través de la fijación biológica de las leguminosas e incrementan la eficiencia de captación, almacenaje y uso del agua.

A continuación, se sintetizan los resultados obtenidos en ensayos de investigación y experiencias prácticas desarrolladas en la zona con el objetivo de investigar el comportamiento de las especies más utilizadas de cultivos de servicios.

Comportamiento de los cultivos de servicio

Las gramíneas centeno, trigo y triticale, junto con la leguminosa *Vicia villosa* son los principales cultivos de servicios utilizados. Su siembra comienza a fines de abril, principalmente en lotes cosechados de soja de grupos de madurez bajo (con un *stand* objetivo de 170-200 y 30-50 pl/m² en gramíneas y en *Vicia villosa*, respectivamente). Por lo general, la cosecha de maíz empieza más tarde, por lo que en los últimos años se realizan siembras aéreas sobre el cereal a partir de abril. Cuanto antes se siembra, mayor es el potencial de biomasa de los cultivos de servicio, ya que la duración del período de crecimiento y la humedad disponible serán mayores (por ejemplo, el retraso de la siembra del 16/4 al 1/16 provoca una disminución en las precipitaciones de 55%).

Dado el régimen de lluvias, el comportamiento de los cultivos de servicios dependerá estrechamente del contenido de agua en el suelo a la siembra. Tal es así que existe una relación directa y significativa ($p < 0,05$) entre la producción de

biomasa aérea y el agua útil acumulada hasta los dos metros de profundidad, incrementándose en promedio en 175 kg/ha por cada aumento de 10 milímetros de agua disponible.

El momento de secado depende principalmente del objetivo por el cual se realiza el cultivo de servicio. Sobre la base de las experiencias desarrolladas en la región, las gramíneas se secan entre el estadio de espiga embuchada y floración, mientras que las leguminosas se finalizan en floración. En función de los ciclos evaluados en diversos ensayos, las gramíneas son secadas, en promedio, 117 días después de la siembra y *Vicia villosa* 137 días después. Esto implica que los secados se realizan entre fines de agosto (gramíneas de ciclo corto) y fines de octubre (*Vicia* con floración avanzada).

La producción de biomasa aérea promedio cuantificada para esas fechas de secado en gramíneas es de 2492 kg/ha (con valores máximos de hasta 5650 kg/ha o de 7364 kg/ha cuando, por ejemplo, el centeno es fertilizado con nitrógeno). En *Vicia villosa* el promedio es de 3738 kg/ha (con máximos de hasta 5070 kg/ha en fechas de siembras normales y de 7600 kg/ha a fines de marzo). Para obtener las biomásas mencionadas, el valor promedio de consumo de agua cuantificado en gramíneas fue de 133 mm (1,2 mm/día), mientras que en *Vicia* fue de 208 mm (1,5 mm/día).

Debido a las características hídricas de la zona es importante conocer con qué eficiencia los cultivos de servicio utilizan el agua para producir biomasa (EUA). En diversos ensayos, la EUA promedio de las gramíneas fue de 18,6 kg/ha/mm, con una pequeña variación entre especies, mientras que en *Vicia* fue 18,7 kg/ha/mm. Fertilizar el centeno con nitrógeno incrementó la EUA en casi un 30%. En el otro extremo, la EUA de *Vicia* descendió hasta 9,4 kg/ha/mm cuando no se logró una adecuada nodulación.

Impacto de los cultivos de servicio sobre maíz

La inclusión de cultivos de servicio modifica diferentes procesos, entre ellos la dinámica del agua, del nitrógeno y de las malezas. Comprender y cuantificar esos cambios permitirá conocer el modo en que los cultivos de servicio afectan la producción del cultivo de renta posterior (impacto económico) y saber si desempeñan funciones ecosistémicas en el corto plazo (impacto ambiental).

Impacto sobre la dinámica del agua

Durante el período de barbecho, una parte de las precipitaciones se pierde por evaporación y escurrimiento superficial, y en algunos casos por drenaje. La intensificación con cultivos de servicio altera, precisamente, la dinámica del agua en ese período. Una parte del agua disponible es utilizada en



el proceso de evapotranspiración asociado a la producción de biomasa que luego se transformará en restos vegetales y materia orgánica. En la región Chaco Santiagueño, caracterizada por escasas precipitaciones invernales, esto ocurre generalmente a costa de reducir la reserva de agua en el suelo. Sin embargo, después del secado, la biomasa generada reduce las pérdidas por evaporación y escurrimiento respecto del barbecho; por lo tanto, la eficiencia de almacenamiento de las precipitaciones en estos sistemas es mayor.

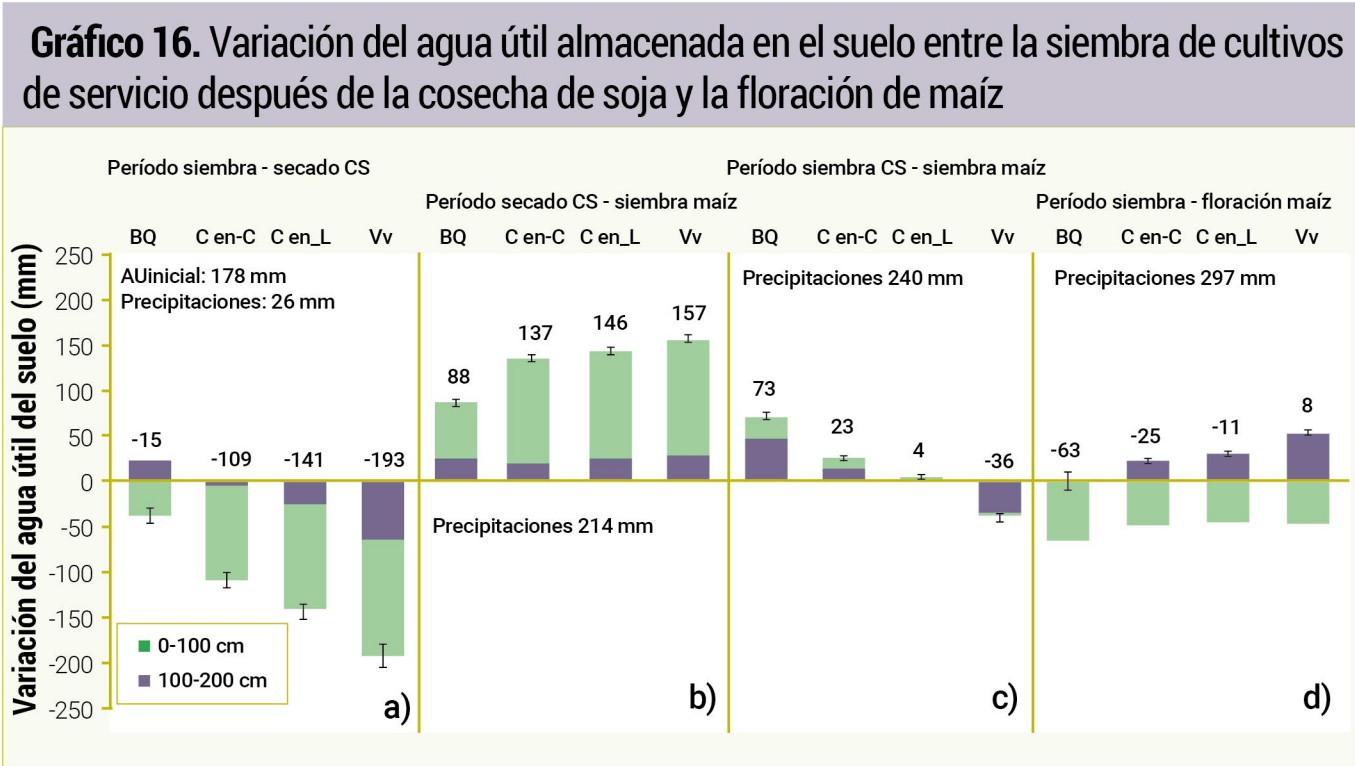
En una experiencia realizada en la localidad de Quimilí, la reserva de agua en el suelo disminuyó entre la siembra y el secado de los cultivos de servicio entre 94 y 178 milímetros más que en el barbecho, pero después del secado las pérdidas por evaporación y escurrimiento superficial se redujeron 39 a 55% (gráfico 16 a y b).

El riesgo en los sistemas intensificados con cultivos de servicio es que la compensación del agua consumida a partir de una recarga posterior no iguale a la variación del agua en el suelo de un barbecho sin cultivo de servicio. Esto implicaría que a la siembra del próximo cultivo estival haya una reserva menor, lo que se conoce como costo *hídrico*. El balance entre el consumo y la recarga del perfil está condicionado por la suma de las precipitaciones, y puede ser modificado a partir del manejo del cultivo de servicio. En el ejemplo, al incluir el cultivo de servicio, el agua almacenada a la siembra del maíz se redujo entre 50 y 109 mm respecto del barbecho sin el cultivo de servicio. Estas diferencias se incrementaron con la duración del ciclo (o en la medida en que se redujo el tiempo entre el secado y la siembra del próximo cultivo), y estuvieron asociadas principalmente a cambios en el segundo metro del perfil (gráfico 16 c).

La función que cumple la biomasa aportada por los cultivos de servicios al reducir las pérdidas por escurrimiento super-

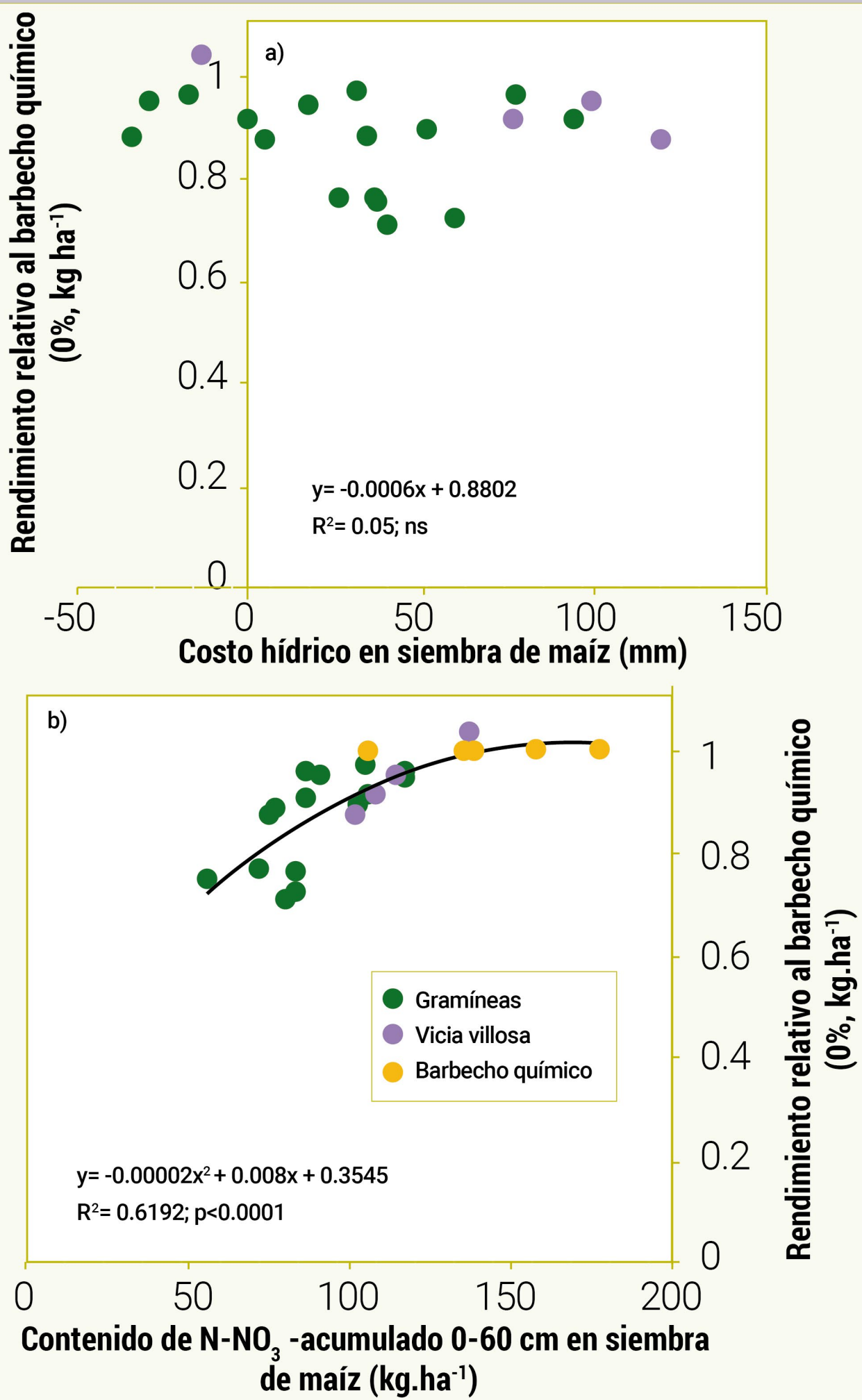
ficial y evaporación continúa durante las etapas iniciales del cultivo estival. En el ejemplo, durante el período que transcurre entre la siembra y la emergencia de estigmas en maíz (R1), el contenido del agua en el suelo con antecesor gramínea se redujo 60 y 83% menos, respectivamente, respecto del barbecho, registrando, incluso una recarga de 8 mm en el caso de *Vicia villosa* (gráfico 16 d).

Aun cuando tiene lugar un costo hídrico a la siembra del cultivo de renta, el impacto sobre su rendimiento puede ser atenuado por las menores pérdidas de agua durante las fases iniciales del cultivo y por la ocurrencia de precipitaciones que permitan cubrir su demanda. Por esta razón, en cuatro experimentos realizados en la zona no se halló una relación significativa ni negativa entre el costo hídrico por la realización de algún cultivo de servicio y el rendimiento relativo al barbecho químico del maíz (gráfico 17).



Ensayo realizado durante la campaña 2017/18 en el establecimiento María Teresa, en el cual se evaluaron los cultivos de servicio centeno de ciclo corto (Cen-C) y largo (Cen-L) y vicia villosa (Vv) versus barbecho químico sin cultivos de servicio (BQ). Las barras apiladas corresponden a la variación de la lámina de agua útil en los intervalos 0-100 cm (barras verdes) y 100-200 cm (barras azules). Los números que figuran encima de las barras indican la variación en el intervalo 0-200 cm para los períodos: siembra a secado de CS; secado de CS a siembra de maíz; siembra de CS a siembra maíz, y siembra de CS a floración de maíz.

Gráfico 17. Relación entre el rendimiento relativo al barbecho químico y costo hídrico en la siembra del maíz (a) y contenido de nitrógeno como nitrato (b) en distintos experimentos con gramíneas y vicia villosa realizados en la zona Chaco Santiagueño



Fuente: Adaptado de Prieto Angueira et al., 2019.

Impacto sobre la dinámica del nitrógeno

Con el objetivo de evaluar los cambios que genera la incorporación de *Vicia villosa* sobre la disponibilidad de nitrógeno en maíz se realizaron diferentes ensayos, que arrojaron valores promedio de biomasa aérea de 5311 kg/ha y concentraciones medias de nitrógeno de 2,97% cuando el cultivo fue secado al inicio de floración. Si se considera que el 61% del nitrógeno de la biomasa es producto de la fijación biológica, la cantidad promedio fijada fue, entonces, de alrededor de 96 kg/ha, lo que equivale a 18 kilos de nitrógeno fijado por tonelada de biomasa aérea. Sin embargo, al cuantificar el contenido de nitrógeno como nitrato (N-NO_3) al momento de la siembra de maíz, sólo se encontraron incrementos significativos ($p < 0,05$) en uno de los cuatro ensayos realizados, por lo que, al menos en la siembra del maíz, no se reflejó de manera significativa el aporte de la fijación biológica. Por lo tanto, en ningún caso se obtuvieron incrementos significativos en el rendimiento de maíz.

Las gramíneas también modifican la dinámica del nitrógeno. Su elevada demanda y la composición de sus tejidos determina habitualmente que haya una menor disponibilidad de nitrógeno en el suelo para el cultivo posterior. Así, al cuantificar en la región el contenido de N-NO_3 - acumulados (0-60 cm) a la siembra de maíz, la reducción promedio respecto del barbecho sin cultivos de servicio fue de 36%, con valores máximos y mínimos de 60 y 16%, respectivamente.

Los cambios generados en la disponibilidad de nitrógeno por los diferentes cultivos de servicio estudiados en la región y el impacto sobre la producción de maíz pueden sintetizarse al analizar la relación entre el rendimiento obtenido con los distintos cultivos de servicio, expresado en términos relativos al rendimiento en el barbecho sin cultivos de servicios y a la disponibilidad de N-NO_3 a la siembra. En la zona se encontró una relación curvilínea entre ambas variables, disminuyendo

el rendimiento cuando el contenido de N-NO_3^- fue inferior a 136 kg de nitrógeno por hectárea (gráfico 17 b). Como era de esperar en el caso de las gramíneas, los puntos se ubicaron todos por debajo de este valor umbral, con contenidos promedio de 85 kg/ha. En el caso de *Vicia villosa*, el valor promedio fue superior (116 kg/ha), pero en el 75% de los casos evaluados fue inferior al umbral de 136 kg/ha.

La dinámica de malezas y su control

Debido a que en la zona sólo un 29% de la superficie agrícola es ocupada con cultivos invernales o primaverales, predominan largos períodos de barbecho que implican mayores costos de control de malezas y un fuerte impacto ambiental por el uso de herbicidas. Esto determinó que recientemente se revalorizara el control cultural de las malezas, por lo que se comenzó a utilizar cultivos de servicio como una estrategia de prevención combinada con el uso de herbicidas.

La estrategia de control tradicional se basa en el uso de herbicidas (barbecho químico) y consiste, básicamente, en la aplicación de posemergentes luego de la cosecha de soja, además de otras tres aplicaciones que se realizan entre los meses de septiembre y diciembre. En 2019 esto representó un costo total en dólares de 90,3 (un 72% correspondió a herbicidas). Si se utiliza el coeficiente de impacto ambiental a campo (EIQ) propuesto por Kovach *et al.* (1992) se advierte que esta estrategia tiene un impacto ambiental de 95.

En cuanto al uso de cultivos de servicio, el manejo, el costo y el EIQ difiere entre las especies más utilizadas que son centeno y *Vicia villosa*. En el caso de esta última, los costos son mayores ya que su siembra y secado son más caros; además, debido a su menor vigor inicial es necesario realizar un control químico de malezas previo a la emergencia. Esto implicó que en el año 2019 los costos fueran de 97,3 y 68,5 U\$S/ha en vicia y centeno, respectivamente. Luego del secado la

situación se revierte, ya que en el caso de vicia se logra una cobertura total del suelo que se mantiene hasta la siembra del maíz, por lo que es posible lograr un eficiente control de malezas sin necesidad de aplicar herbicidas hasta la siembra del cultivo de verano, mientras que por lo general en centeno se deben realizar dos aplicaciones. Por lo tanto, en 2019, los costos totales promedio en el caso de *Vicia villosa* y centeno fueron de 97,3 y 109,5 dólares (7 y 21% más que en barbecho químico, respectivamente). Pero, si a estos costos les restáramos los beneficios generados por los cultivos de servicio, sin duda alguna la estrategia de control de malezas combinada con el uso de cultivos de servicio resultará más económica. Además, y quizás esto sea lo más importante, el uso de cultivos de servicios para el control de malezas redujo el EIQ y por lo tanto el impacto ambiental en un 30% al realizar centeno y un 54 % en el caso de vicia, aspecto de gran importancia social si consideramos la amplia superficie agrícola de la zona.

Comentarios finales

Los cultivos de servicio se han transformado en una excelente alternativa para acortar los largos períodos de barbecho en la región. Lo que antes se pensaba como una estrategia para mejorar el control de malezas, hoy se considera una oportunidad para incrementar la eficiencia de uso del agua y la generación de biomasa, que luego se transformará en materia orgánica del suelo (y por lo tanto mejorará sus propiedades) y además permitirá la incorporación de nitrógeno, un nutriente cada vez más limitante en la zona. Por si esto fuera poco, sería posible disminuir el impacto del uso de los herbicidas.

Aún resta mucho trabajo por hacer en la zona, pero no hay dudas de que los cultivos de servicios llegaron para quedarse y también para ayudar a los productores a repensar los sistemas productivos.

Región Mar y Sierras

■ Ing. Agr. Gabriel Saaby

Asesor del CREA Tres Arroyos.

■ Ing. Agr. Agustín Bilbao

Asesor del CREA Necochea-Quequén.

■ Mesa de Asesores de la región Mar y Sierras

El esquema de trabajo de la región CREA Mar y Sierras para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles se apoya en una serie de desafíos:

- Aplanar la curva de expansión de las malezas problemáticas reduciendo el uso de insumos (medido como EIQ).
- Aumentar el contenido de carbono lábil del suelo y acoplar su dinámica a los requerimientos de los cultivos, manteniendo raíces vivas por más tiempo. En principio, esto se logrará incorporando pasturas polifíticas plurianuales o explorando “nichos” para incluir cultivos de servicio, gestionando las limitantes existentes en la zona.
- Mantener rotaciones balanceadas en fósforo y azufre, mientras se evalúa qué ocurre con otros nutrientes como el zinc (Zn).
- Trabajar intensamente en la mejora continua del factor humano.
- Evitar caer en la *trampa* de los arrendamientos, que a menudo conduce a los productores a *zambullirse* en planteos que no son sostenibles e implican, por ejemplo, hacer agricultura en lotes ganaderos, descuidando los suelos por cuestiones económicas.

Estas pautas de trabajo están en línea con las características particulares de la zona, donde las rotaciones incluyen cultivos de invierno (aproximadamente el 50% de la superficie, con trigo y cebada), girasol, maíz y soja.

En los últimos años, la soja constituyó únicamente el 15% de la superficie total como cultivo de primera. Por lo general, luego del cultivo de invierno se siembra uno de segunda (soja en el 90% de los casos), algunos lotes de maíz y muy pocos de girasol. Cuando el precio de la soja es bajo o cuando se atrasa la fecha de siembra de la soja de segunda, muchos de los lotes cosechados en enero se sembrarán recién en octubre-noviembre. En estos casos, los cultivos de servicio podrían ocupar una gran superficie.

Por otro lado, la productividad de los lotes bien manejados de la región Mar y Sierras los encuentra muy cerca del 80% del rendimiento alcanzable (*brecha* 20%), lo que significa que allí no se deberían buscar aumentos de rendimiento para los cultivos y genética utilizados.

La región posee suelos con elevados niveles de materia orgánica, lo que les confiere una gran resiliencia respecto de otras regiones del país. Las lluvias se distribuyen en forma pareja a lo largo del año. Como ejemplo, si se comparan las precipitaciones anuales de la región con las de localidad de América, en el oeste pampeano, éstas resultaron 4% inferiores en los últimos 10 años, aunque las lluvias ocurridas entre octubre y enero fueron 60% inferiores en Mar y Sierras. Estas escasas lluvias primaverales respecto de otras localidades evidencian la necesidad de terminar los cultivos de servicio unos 40 días antes de la siembra de gruesa.

Las bajas temperaturas constituyen otra característica que modula las actividades de la región. Entre los cultivos de segunda, la gran superficie ocupada con trigo y cebada, y los

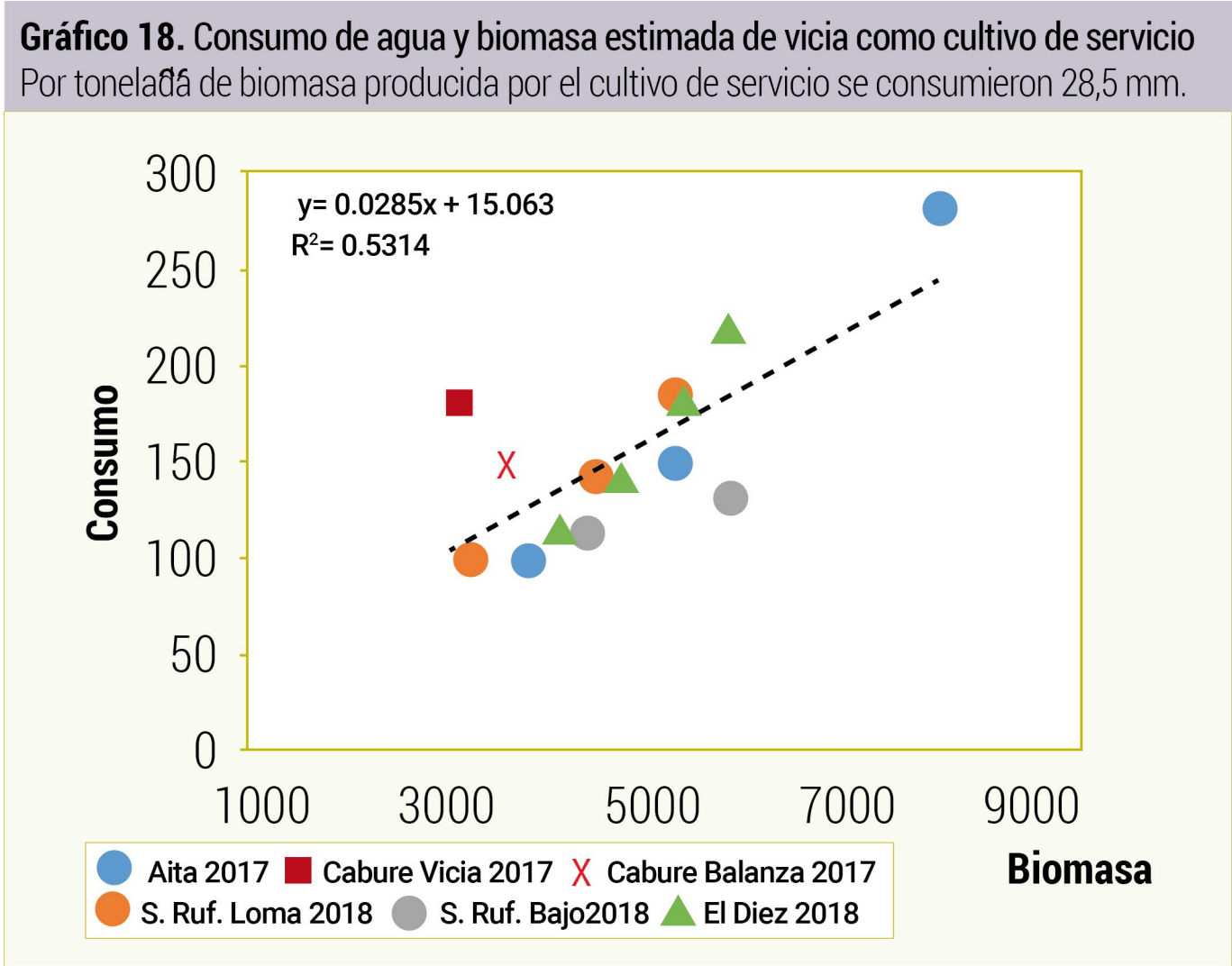
verdeos de invierno queda poca superficie a explorar con cultivos de servicio. La mayor parte de ella se siembra a voleo sobre maíz, pero tiene un bajo porcentaje de logro y muchas veces deviene en cultivos desparejos que no cumplen con los objetivos planificados. Además, las temperaturas frías impactan notablemente en los bajos de la subzona serrana.

Si bien una parte de los campos tiene planteos mixtos con presencia de pasturas en suelos ganaderos, se trata de una zona de aptitud eminentemente agrícola. Hay pocos lotes con pasturas en los suelos agrícolas, aunque se realizan muchos verdeos de invierno, como los dobles cultivos sin soja de segunda que se destinan a la recría. En otra parte de la región hay lotes de escasa aptitud agrícola como consecuencia del déficit hídrico, los cuales, sin embargo, se encuentran en agricultura continua.

Cuando la región se propuso avanzar en los desafíos planteados para lograr una mayor sostenibilidad, los cultivos de servicio fueron la primera alternativa, además de las rotaciones de cultivos de cosecha y pastoreo tradicionales. Sin embargo, se encontraron algunas limitantes, entre ellas, el desconocimiento. Para revertir la falta de información, la región Mar y Sierras comenzó a desarrollar experiencias en campos de productores, además de interactuar con otras instituciones, en especial, con Aapresid, INTA Balcarce, Chacra Miramar y especialistas de otras zonas.

Otra limitante identificada fue la recarga de agua en el perfil: el cultivo de servicio se termina 40 días antes de sembrar el cultivo de verano para evitar mermas en el rendimiento por escasa recarga (descartando, en principio, la “siembra en verde”; gráfico 18). Sin embargo, cuando se lo termina con demasiada anticipación, el volumen de materia seca generado por el cultivo de servicio es escaso, por lo que deja de cumplir con parte de sus objetivos. Por esta razón, el cultivo

de gruesa se siembra en la segunda quincena de noviembre, luego del cultivo de servicio, lo cual, en lotes profundos, genera una merma de rendimiento para el girasol y una merma de rendimiento potencial, además de atrasos en la cosecha para el maíz.



El sembrado de los cultivos de servicio comienza en la segunda quincena de marzo, aunque en los últimos años se apunta a principios de febrero, para contar con un gran crecimiento en el otoño y no depender del crecimiento de principios de la primavera.

A menudo, el aumento de la cobertura perjudica la implantación y el crecimiento inicial del cultivo posterior. Esto debe ser manejado con mejoras en los sistemas de siembra de cosecha gruesa y con una menor cantidad de gramíneas en la rotación (difícil en la actualidad, ya que son las de mayor margen bruto). Los pastoreos también ayudan a mitigar esta

limitante. Por otra parte, en la subzona serrana la elección y la ubicación de los cultivos de servicio están condicionadas por la topografía, debido al riesgo de heladas.

También es necesario considerar ciertas cuestiones sanitarias: en invierno, la vicia enferma con la aparición de *Ramularia* y *Botrytis*, entre otros patógenos. Para reducir este problema se la sembró con algo de avena, o se dejó el trigo/cebada guachos. Sin embargo, esto incrementó el inconveniente generado por el exceso de cobertura, así como los problemas sanitarios asociados a esos cereales de invierno. Además de las enfermedades en vicia, también existen riesgos latentes, como el aumento de roya amarilla por usar trigo, centeno o triticale o el aumento de virosis transmitidas por ácaros o pulgones presentes en trigo. En 2020 está prevista la realización de pruebas con fungicidas foliares, lo cual, por otro lado, atentaría contra el objetivo de reducir el uso de insumos. Por ello, los productos de origen biológico también se perfilan como herramientas a probar; mientras tanto, los pastoreos ayudan a mitigar el efecto de las enfermedades en el sistema.

La rotación y las temperaturas dejan poco espacio para implantar los cultivos de servicio con una sembradora, mientras que las siembras a voleo muchas veces obtienen porcentajes de logro bajos y desparejos. Además, se dispone de pocas sembradoras Altina en la zona. En la actualidad, se analiza cuáles son las especies menos afectadas por la mala distribución aérea, y las que sufren menor daño por las plagas de suelo al sembrarse a voleo. También se evalúan las siembras en el entresurco en maíces de segunda en el estado de V6, y se analiza cuáles son las especies menos susceptibles al daño por plagas (por ejemplo, los tréboles son más susceptibles que los cultivos de servicio con vicia). En la campaña 2019/20 se evaluó la siembra de soja de segunda a voleo sobre trigo, con muy malos resultados.

Con la inclusión de cultivos de servicio se incrementan también las poblaciones de plagas que se refugian en el rastrojo, como los bichos bolita, que impiden el logro de girasol y soja, y representan un alto costo de control. Lo mismo sucede con las babosas, aunque este es un problema menos difundido. Además de aumentar las poblaciones, estas plagas afectan a los cultivos de servicios sembrados en el otoño, lo que genera la necesidad de eliminarlas mediante el uso de cebos tóxicos. Esta alternativa atenta contra el objetivo propuesto de reducir el EIQ: entre implantación y los dos años posteriores al cultivo de servicio en la zona costera se necesitan unos 4 kg/ha extra de cebo para matar a los bichos bolita. Una vez más, los productos de origen biológico aparecen como herramientas a probar, mientras que los pastoreos ayudan a reducir el volumen de rastrojo.

En cuanto a la terminación de los cultivos de servicio, en la zona se encuentran pocos rolos *crimper* -que aplastan en lugar de cortar- lo que dificulta la experimentación. En otras regiones se ha observado que, si se termina con rolo estos cultivos cuando se encuentran en estadios vegetativos, el porcentaje de rebrote es elevado. Por ahora, se finaliza la mayoría de los cultivos de servicio con aplicaciones de herbicidas. Aún deben realizarse más pruebas.

Algunas de las limitantes planteadas tienen lugar sobre todo en campos 100% agrícolas. Posiblemente, el retorno a sistemas mixtos podría ser una solución. Sin embargo, esto se hace muy difícil, ya que se debería conseguir personal para manejar la ganadería y también estructura, como alambrados, molinos, mangas, bebidas, etcétera. En la región Mar y Sierras, la mayor limitante está relacionada con las *barreras mentales* de técnicos y productores, seguida por la inversión necesaria y, en gran medida, por la falta de personal apto para llevar adelante modelos ganaderos exitosos. Otro aspecto por considerar es la ecotoxicidad generada por el uso de agroquí-

micos (EIQ). Al momento, la inclusión de cultivos de servicios no produjo una reducción de este indicador debido a que es necesario finalizarlos con herbicidas. Además, se registró un aumento en la población de algunas plagas y problemas sanitarios asociados, que probablemente deban ser combatidos con fitosanitarios.

Otras tecnologías

Para favorecer el uso de tecnologías de procesos y reducir la utilización de insumos, además de las rotaciones y la inclusión de cultivos de servicios la región se ha concentrado en mejorar el manejo de malezas y reducir el EIQ. En la actualidad el acento está depositado en dos factores principales:

- Manejo integrado de malezas: estudiar y difundir conocimientos, tanto hacia el interior del Movimiento CREA como hacia la comunidad en su conjunto. Esto implica conocer la biología de las malezas, el funcionamiento de los herbicidas y la importancia de rotar modos de acción y de recurrir a la eliminación mecánica.
- Aplicaciones dirigidas: entender y difundir cómo y cuánto pueden aportar los cultivos de servicio, y cómo se puede afrontar su costo. Considerando que en abril de 2019 había cuatro equipos en toda la provincia de Buenos Aires, puede considerarse un gran logro el hecho de que en abril de 2020 un productor del CREA Necochea-Quequén haya adquirido un equipo Weed IT, y que cuatro productores de la región estén a punto de comprar equipos de aplicaciones dirigidas. También cuenta la difusión de los resultados de las pruebas realizadas en la región a la totalidad de sector: gracias a este conocimiento, un productor de la zona que no pertenece al Movimiento CREA ya compró un equipo y otros tres están a punto de hacerlo. Esto constituye un verdadero logro para la zona, porque habla del éxito alcanzado por la difusión de la temá-

tica “Aplicaciones dirigidas” en las jornadas de actualización técnica zonales. Mientras tanto, continúan analizándose otras tecnologías para ver cómo se pueden implementar. Por ejemplo, el destructor de semillas Harrington, el uso de drones, “pie de pato”, etcétera.

Región Norte de Buenos Aires

■ Ing. Agr. Juan Radrizzani

Asesor del CREA Arroyo del Medio.

■ Ing. Agr. Santiago Levantini

Asesor del CREA San Antonio de Areco.

Desde hace más de 15 años la región trabaja por la sostenibilidad de los sistemas de producción. Así fue que comenzaron a incorporar cultivos de cobertura con el objetivo de disminuir el impacto de la erosión y aumentar la infiltración en los suelos más pesados y erosionados del CREA San Pedro-Villa Lía. Al mismo tiempo, se trabajó en la incorporación de cultivos invernales, intensificando la rotación con cultivos de renta. De esta manera se logró mejorar la captura de recursos (agua, radiación, nutrientes) y el resultado económico de las empresas.

Los integrantes de la zona compartían la inquietud de saber si las rotaciones de tercios serían suficientes para mantener el nivel productivo de los suelos. Esto los llevó a trabajar en distintos tipos de ensayos con cultivos de invierno, para evaluarlos en el marco del sistema productivo y conocer su impacto sobre los cultivos de verano. Por esta razón, el equipo técnico de la zona comenzó a evaluar dobles cultivos y cultivos simples durante dos campañas (2008/09 y 2009/10). Así, se observó que el cultivo invernal modificaba el ambiente del

cultivo sucesor, afectando el contenido de agua en el perfil a distintas profundidades y aportando distinto volumen de rastrojo, con diferente relación C:N. A partir de esos resultados, restaba indagar sobre el impacto que ello tendría en las campañas posteriores.

Durante la campaña 2010/11 se lanzaron los Ensayos de Intensificación del sistema de producción, donde se pasó de desarrollar experiencias de corto plazo (una campaña) a otras de larga duración (tres campañas). De esta manera, se podría seguir investigando cómo funcionaban los distintos cultivos y cuál sería el impacto en los sucesores. A estos ensayos de alta complejidad se sumó el equipo de trabajo de la Universidad de Buenos Aires (Fauba).

De este modo, se plantearon tres ensayos posibles en las tres subzonas de la región. Estas experiencias permitieron cuantificar el impacto de los cultivos antecesores y censar diferencias en la segunda y tercera campaña por efecto de la primera, con resultados contundentes en cuanto a los niveles productivos de las distintas rotaciones. Posteriormente, se continuó con una nueva red de ensayos, cuyo objetivo fue evaluar el impacto de las distintas rotaciones sobre el ambiente.

Cuadro 4. Ensayos de Intensificación del sistema productivo en la región Norte de Buenos Aires					
Tratamiento	Campaña 2010-11	Campaña 2011-12	Campaña 2012-13	Ind Int	Leg/Gram
1	Colza/Soja	Trigo/soja	Maíz	1.66	1
2	Trigo/Soja	Trigo/soja	Maíz	1.66	0.66
3	Cebada/Soja	Trigo/soja	Maíz	1.66	0.66
4	Arveja/Soja	Trigo/soja	Maíz	1.66	1.5
5	Arveja/Maíz	Trigo/soja	Maíz	1.66	0.66
6	Maíz	Trigo/soja	Maíz	1.33 (1.66)	0.33 (0.66)
7	Soja 1°	Trigo/soja	Maíz	1.33	1

Así fue que en 2014 se lanzó el Ensayo de Rotaciones. Con él se planteó la posibilidad de analizar la productividad, el uso de los recursos, el impacto sobre las propiedades físicas y quí-

micas del suelo, la actividad microbiana, la dinámica de población de malezas y los indicadores productivos/económicos. Este ensayo comenzó en la campaña 2014/15 y finalizó en el ciclo 2019/20 y fue desarrollado por un equipo interdisciplinario conformado por integrantes de la región CREA Norte de Buenos Aires, de la Fauba, de la Universidad de Lomas de Zamora y de otras instituciones.

Cuadro 5. Tratamientos/rotaciones de la primera fase del estudio.			
	Monocultura Soja	Rotación Tercios	Rotación intensificada
1°	Soja 1°	Trigo/soja	Trigo/soja
2°	Soja 1°	Maíz	Arveja/maíz
3°	Soja 1°	Soja 1°	Trigo/soja

Al llegar al tercer año se decidió continuar un nuevo ciclo del ensayo, pero dividiéndolo en dos: uno con el manejo del productor y el otro con intensificación en el uso de fertilizantes, empleando un 30% más de fósforo que el que habitualmente utiliza el productor.

Después de seis años, se observó que las rotaciones intensificadas mejoraron las condiciones físicas y químicas del suelo, aumentaron su actividad microbiana y la productividad del sistema, reduciendo, además, la frecuencia de aparición de malezas resistentes, como yuyo colorado y rama negra.

En el ciclo 2020/21 la región continúa con una nueva red de ensayos a siete años, que incorpora distintas secuencias de cultivos de renta y de cobertura con el objetivo de evaluar la sostenibilidad de sistemas de producción contrastantes.

Cuadro 6. Tratamientos/Rotaciones a evaluar durante la segunda fase del estudio							
Campaña	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Tercios TESTIGO	Tr/Sj	Mz tempr	S1°	Tr/Sj	Mz tempr	S1°	Mz tempr
Intensificado con Cob	CC/Sj 1°	Vicia /Mz	S1°	CC/Sj 1°	Vicia /Mz	S1°	Mz tempr
Intens Renta	Tr/Sj	Arv/Mz	S1°	Tr/Sj	Arv/Mz	S1°	Mz tempr
Intens Renta y Cob	CC/Sj	Arv/Mz	S1°	Tr/Sj	Vicia/Mz	S1°	Mz tempr

Experiencias a nivel de empresa

Más allá de las inquietudes que llevaron a la región a evaluar los sistemas de producción, hace tiempo se detectaron nuevas problemáticas dentro de las empresas. Estas *luces amarillas* en el tablero de control indican que están *en jaque* no sólo la sostenibilidad productiva y económica, sino también –y quizás esto sea aún más importante– la sostenibilidad social de nuestros sistemas de producción.

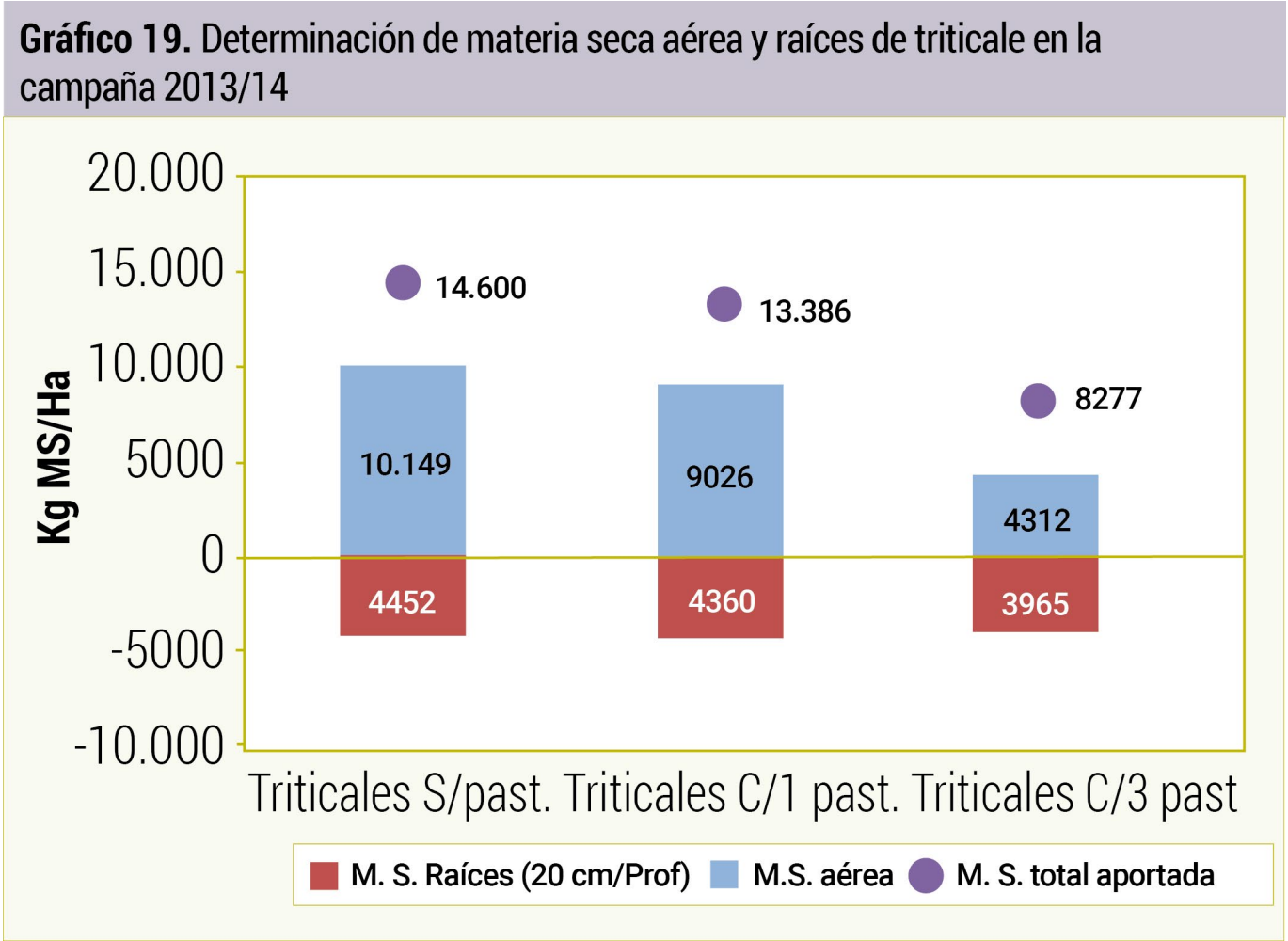
La vertiente productiva estaba siendo amenazada por eventos climatológicos cada vez más intensos, lo que provocó una degradación de los suelos. A su vez, la aparición de malezas resistentes irrumpió con fuerza en los lotes, limitando cada vez más las estrategias químicas con las que habitualmente se llevaba adelante la producción. Esto propició que varias empresas comenzaran a trabajar con cultivos de cobertura, con el objetivo de mejorar las propiedades físicas del suelo y lograr un control de malezas por competencia.

En suelos con problemas de infiltración se puso el foco en aportar raíces al sistema, aprovechar los recursos disponibles (agua y radiación) y retener nutrientes. En su mayoría, estos cultivos fueron gramíneas invernales (raigrás, avena, centeno y triticale) sembradas antes del cultivo de soja.

Con respecto a las malezas, el ingreso de *Lolium* resistente impulsó la utilización de leguminosas en forma previa a los maíces de siembra demorada. El objetivo de esta estrategia fue competir por el recurso luz y limitar la emergencia de esta gramínea invernal, además de aportar nitrógeno al cultivo de renta posterior.

Durante los primeros años se comenzó a cuantificar el aporte de materia seca aérea y de raíces al sistema, midiéndolo a través de distintos tratamientos de pastoreo. El objetivo fue

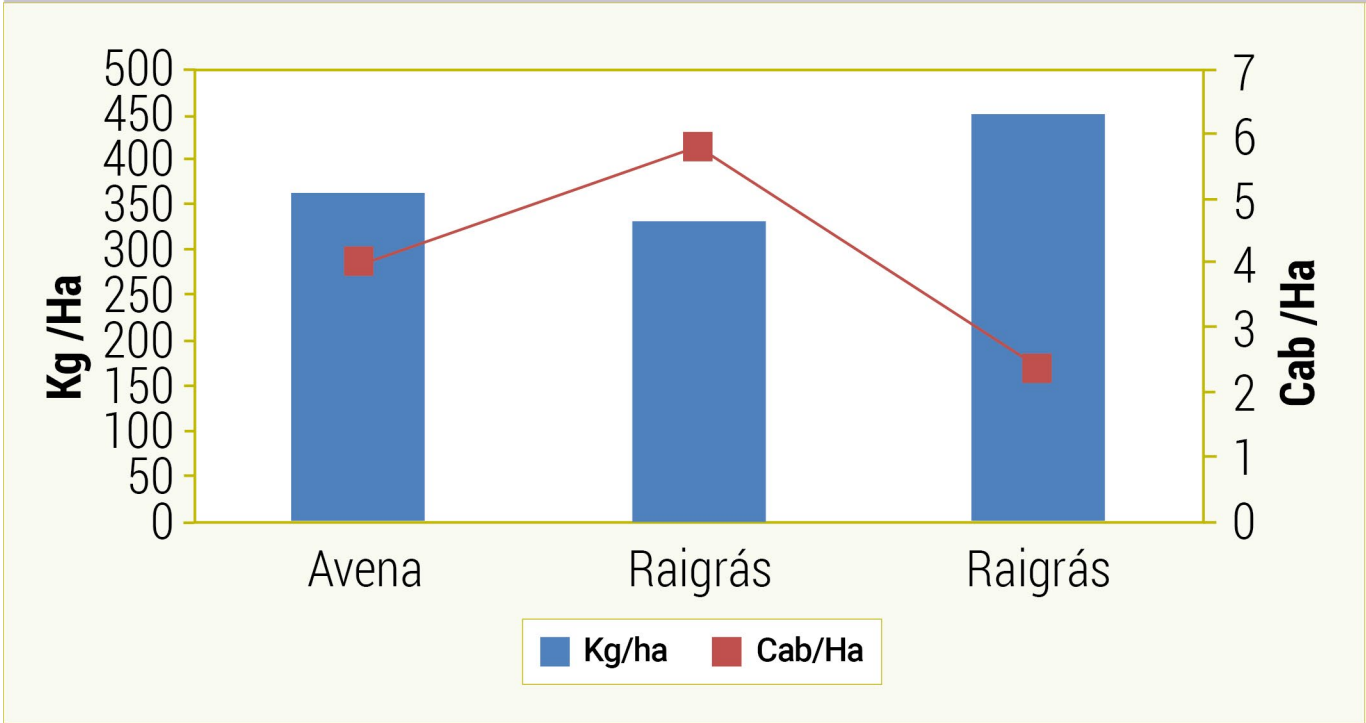
evaluar el impacto de la utilización animal de estos recursos sobre el rendimiento del cultivo de renta y los aportes para los cuales el cultivo de cobertura fue planificado inicialmente (gráfico 19).



A partir de los resultados obtenidos, en algunas empresas se comenzó a pastorear estos cultivos durante el invierno, logrando excelentes niveles productivos que incrementaron el resultado total de la empresa (gráfico 20). Estos datos constituyeron un importante avance en términos de la sostenibilidad económica del sistema, dado que, por lo general, el costo de los cultivos de cobertura era superior al de un barbecho químico normal.

En las últimas campañas se trabajó para mantener el suelo en actividad el mayor tiempo posible, con el objetivo de maximizar la producción de materia seca y competir desde el inicio con la emergencia de malezas. De esta manera, se redujo considerablemente la necesidad de recurrir a estrategias de control químico, lo que permitió hacer un aporte a la sosteni-

Gráfico 20. Producción de carne y carga de recrias en verdeos de servicio



bilidad de los sistemas. La demanda social por lo que se consideraba una excesiva utilización de productos fitosanitarios en la agricultura determinó que se establecieran distancias de aplicación que, en algunos partidos bonaerenses, excluían la posibilidad de utilizar agroquímicos en grandes sectores de las tierras más productivas de la zona. Esto impulsó el rediseño de los sistemas en el afán de atender también esas demandas.

En la actualidad, el 10% de la superficie agrícola regional se implanta con cultivos de cobertura: un 83% con gramíneas y el 17% restante con leguminosas. Se intenta realizar la implantación lo más temprano posible en el otoño para cubrir rápidamente el suelo, competir adecuadamente con las malezas desde el inicio y maximizar la producción de materia seca. En la siembra de gramíneas, que por lo general anteceden al cultivo de soja, predominan el centeno, la avena, el raigrás y el triticale. Entre las leguminosas predomina *Vicia villosa*. Habitualmente ésta es utilizada como antecesor del maíz tardío, aunque se están desarrollando algunas experiencias previas al cultivo de soja, con el objetivo de evaluar su impacto sobre el aporte de nitrógeno.

En general, la decisión de finalizar estos cultivos se basa en un balance entre la máxima producción de materia seca posible y la preservación del consumo de agua para el cultivo siguiente. Este momento ocurre, en promedio, hacia fines de agosto-principios de septiembre en el caso de las gramíneas, antes del cultivo de soja. En vicia esto sucede generalmente hacia fines de noviembre, previo al maíz tardío. El método de finalización utilizado suele ser el secado con agroquímicos en el caso de las gramíneas, y el rolado mecánico para las leguminosas.

Últimamente, los cultivos de cobertura se implantan directamente sobre los de renta antes de la cosecha para extender el período en que el suelo tiene cobertura verde. Para ello se trabaja con siembras *a voleo* con sistemas terrestres de distribución neumática, y con siembra aérea en el momento en que el cultivo anterior se encuentra próximo a terminar su ciclo.

En las últimas dos campañas se obtuvieron buenos resultados al implantar cultivos de vicia sobre soja de segunda antes de la cosecha, con lo que se llegó a la siembra del maíz tardío sin aplicación de agroquímicos.

Hace más de una década que la región se encuentra en la búsqueda continua de preservar el suelo, con la convicción de que este recurso será la clave para la supervivencia de las empresas en las próximas generaciones. El propio sistema indica que es necesario renunciar al intento de adaptar el ambiente a los sistemas de producción. Lo que se debe hacer, en cambio, es definir adecuadamente el potencial productivo de los ambientes, para luego determinar qué es lo que se puede producir en ellos.

Región Litoral Sur

■ Federico Sörenson

Coordinador Comisión de Agricultura CREA Litoral Sur.

■ Lucas Burzaco

Asesor CREA Larroque-Gualeguay.

La región CREA Litoral Sur constituye una zona de producción agrícola-ganadera. Hace ya algunos años el negocio económico agrícola comenzó a revelar cierta inestabilidad, tanto por el precio de los granos como por su rendimiento. Esta situación impulsó a los productores a revisar los modelos de producción para superar esta realidad.

Para entender cómo abordar esta problemática en la región se analizaron los planteos de dos empresas: Berardo Agropecuaria, que realiza agricultura en campos alquilados en una superficie aproximada de 40.000 hectáreas, e Ingleby, que desarrolla producción agrícola y ganadera en campo propio, en una superficie de 4000 hectáreas.

Diagnóstico inicial

En los últimos 30 años, las empresas de la zona pasaron de desarrollar una agricultura “física” (con un alto *input* de labranzas) a una “química” (con una elevada utilización de herbicidas). Por otra parte, tuvo lugar una importante simplificación de la rotación agrícola, con apenas tres cultivos que ocupaban prácticamente la totalidad de la superficie.

El sistema de producción vigente comenzó con un modelo simple y escalable que, como propiedades emergentes, generó mayor erosión y una pérdida de la actividad biológica de los suelos, además de complejizar la problemática de las malezas resistentes, cuyo tratamiento comenzó a exigir una cantidad

de insumos cada vez mayor. Como consecuencia, se incrementaron los costos totales de producción de cultivos, aunque los rindes no se incrementaron en la misma medida, por lo que los márgenes económicos se han resentido.

De la mano de estas cuestiones, se manifiesta una creciente preocupación social por saber lo que se realiza *tranqueras adentro* de las empresas, y eso produjo un replanteo del vínculo que se mantiene con la comunidad, además de los interrogantes que surgen respecto a la sostenibilidad del sistema.

Por otra parte, las características edáficas de la zona condicionan el retorno a la labranza por los riesgos asociados a erosión hídrica.

Para contrarrestar las falencias del sistema actual, las empresas empezaron a desarrollar diferentes acciones concretas en la escala productiva:

- Diversificación de cultivos con destino a cosecha: el abanico de cultivos se amplió para contar con una mayor diversidad espacial y temporal de especies; lograr una disminución del riesgo productivo al ubicar el período crítico en distintos momentos; aportar al suelo una mayor variabilidad de residuos (diferente relación C:N) y rotar principios activos de herbicidas.

Los cultivos no tradicionales que se están realizando son: arveja, colza, Brassica carinata, girasol, forrajeras para semilla (raigrás, festuca, tréboles) y cultivos de servicios o verdeos para semilla (vicia, avena).

La principal limitante es la incertidumbre que generan algunos de estos cultivos desde el punto de vista económico-financiero: por ejemplo, al no poder fijar precios de venta o tener que subordinarse al hecho de lograr una calidad determinada para recién entonces obtener un precio certero.

- Incorporación o aumento de la producción ganadera: la presencia de animales dentro del sistema está contemplada por dos aspectos principales; es una forma de estabilizar el flujo de ingresos dentro de la empresa, pero, además, es un elemento que habilita la incorporación de praderas a los sistemas de producción.

Algunos de los beneficios de esta actividad han sido el aprovechamiento económico de los cultivos de servicios con el pastoreo y la generación de mayor proporción de bienes de uso dentro de los activos del portafolio empresarial, lo que genera mayor respaldo patrimonial, especialmente en años de quebranto del negocio agrícola.

Dentro de las limitantes que encuentra la ganadería, las más importantes han sido la falta de estructura en los campos (casas, instalaciones de trabajo, caminos) y el alto costo de ingreso que tiene hoy esta actividad. Por otro lado, una de las empresas analizadas tiene como premisa cumplir con todas las prácticas de bienestar animal (no confinamiento, condición corporal buena durante todo el año).

- Incorporación de pasturas: en línea con el punto anterior, estas empresas sumaron pasturas en sus rotaciones para reducir el uso de agroquímicos y mejorar los parámetros químicos y físicos del suelo (fósforo, erosión, compactación, materia orgánica, densidad, biología). Debido a la escala que manejan estas empresas, la proporción de praderas no alcanzó aún un valor que les permita rotar entre actividades en un espacio de tiempo lógico (por ejemplo, cuatro años de pastura por cuatro años de agricultura o bien seis años por cuatro).

- Análisis de la rotación presupuestada desde el aspecto económico, pero también ambiental. En muchas ocasiones, el hecho de incorporar cultivos que implican una comercialización más compleja o que no están destinados a la cosecha

de grano implica un resultado económico menor al esperado o mayor incertidumbre comercial. Sin embargo, estos cultivos también aportaron una mayor diversificación ecológica y del riesgo productivo, sumado a una mejora del sistema edáfico y, a menudo, a una disminución en el uso de insumos (herbicidas, fertilizantes).

- Modificación de los contratos de alquiler. En este sentido, se registraron dos cambios principales: una mayor extensión del plazo llevando el arrendamiento a un período de dos o tres años, y la incorporación de una cláusula donde se especifica que hasta el mes de marzo de cada año pueden realizarse los cambios que se consideren necesarios (de lo contrario, se puede continuar con el contrato tal como venía funcionando). Estos aspectos brindan mayor flexibilidad al inquilino para establecer las rotaciones agrícolas, y mayor certeza en la fecha de siembra de los cultivos de servicios (un aspecto importante para alcanzar el éxito).

La principal limitante reside en la apertura mental del propietario del campo y su comprensión de los beneficios que reporta establecer un sistema más sostenible en el largo plazo. En este sentido, las empresas han tenido que trabajar mucho con los arrendatarios para explicar las bondades de introducir cambios en el sistema de producción actual.

- Quizás uno de los aspectos que más han desarrollado estas empresas es el uso de cultivos de servicios. Realizan siembras puras y consociadas con participación de especies como vicia, avena, trigo, raigrás, centeno y crucíferas. En general, se siembran todos los rastrojos de maíz temprano que posteriormente se destinan a soja; también se están empezando a sembrar rastrojos de soja de segunda, que luego van a maíz temprano. El método de siembra es principalmente con sembradora, aunque también se hace a voleo con máquinas autopropulsadas. El voleo es una forma de siembra que aún

se encuentra en análisis, ya que presenta algunas ventajas, como su menor costo y un nacimiento de plantas más equidistante que le permite al cultivo competir mejor con plantas adventicias o malezas. Su principal desventaja es una mayor erraticidad en el logro de plantas por la elevada dependencia respecto de las condiciones climáticas posteriores a la labor.

En general, la erogación que implican estos cultivos es igual o mayor a la de los barbechos químicos, debido principalmente a que algunas veces también se aplican herbicidas en los cultivos de servicios, pero en especial porque el problema de malezas aumentó de manera significativa en los últimos años. Además, es necesario realizar un ajuste fino de planificación logística en los momentos de quemado y en la fecha de siembra de los cultivos de renta posteriores para no generar una merma productiva. Por otra parte, con el correr de los años se advirtieron grandes cambios en la erosión, la estructura y la biología del suelo que deberían impactar en forma positiva en los márgenes brutos de mediano plazo.

Un inconveniente que se presenta en algunas situaciones y que aún permanece sin resolver está relacionado con las complicaciones para lograr la implantación de algunos cultivos cuando se genera una importante cantidad de rastrojo en superficie.

Tal como ocurre siempre que se incorpora una nueva tecnología, las empresas han descubierto que la capacitación de los recursos humanos es clave para lograr una correcta implementación. En este caso, es vital instruir bien al personal acerca de las fechas y la calidad de siembra, las especies más adaptadas y el momento de supresión.

Desafíos

Está claro que los sistemas productivos deben cambiar de foco, para ello será necesario incorporar diversas herramien-

tas y abordarlas con una mirada sistémica. Este camino debe ser transitado en conjunto por empresarios y técnicos, con el aporte de los distintos puntos de vista.

Algunas de las nuevas herramientas que se están analizando son la fertilización variable y la pulverización selectiva que permitirán hacer un uso más eficiente de los insumos y reducir el costo y el impacto ambiental. Uno de los desafíos cruciales es generar indicadores de sostenibilidad ambiental y social que acompañen a los económicos. De esta forma, se visualizará a la sostenibilidad como una película y no como una foto.

Un agradecimiento especial para Rubén Berardo y Matías Chevallier por la predisposición y el tiempo brindados para realizar las entrevistas, que constituyen el *alma* de este artículo.

Región Sudeste

■ Ing. Agr. Gastón Therisod

Responsable técnico de agricultura de la región CREA Sudeste.

■ Ing. Agr. Marcelo Rey

Asesor del CREA Defferrari.

La región CREA Sudeste se encuentra en plena Cuenca del Salado: la topografía es llana, con lento escurrimiento del agua de lluvia que recibe de las regiones adyacentes a través de canales, arroyos y del propio Río Salado. Hacia el norte, los suelos son más complejos que hacia el sur. El régimen climático del norte favorece el buen potencial de rinde de los cultivos de maíz y soja (de primera y de segunda).

- Rotaciones: en el norte, la secuencia principal consiste en trigo/soja de segunda-maíz-soja de primera, el girasol es poco importante. En el sur, dados los riesgos de encharcamiento,

la rotación más importante es trigo-girasol-soja de primera o maíz. Si bien la rotación es relativamente estable, puede ser modificada en ocasiones según el precio de los cultivos. Durante mucho tiempo, la soja fue más importante que el maíz.

Estas rotaciones son las establecidas en los sectores agrícolas de los campos, pero también existe una proporción de lotes que, en años de excesivas lluvias, dejan de sembrarse y vuelven a entrar en agricultura cuando el clima lo permite.

- Rinde de los cultivos: el rendimiento potencial de cada cultivo está íntimamente relacionado con el ambiente, que fue caracterizado regionalmente; cada cierto tiempo se replantea la asignación a cada lote en particular.

- Planteos mixtos: mucha de la agricultura se realiza en función de la ganadería (maíz y sorgos de pastoreo). En general, las pasturas se desarrollan en suelos ganaderos (por capacidad productiva y riesgo de encharcamiento). Algunas lomas se siembran con verdeos de invierno para complementar la cadena forrajera.

- Temperaturas “medias”: en general, las temperaturas permiten un buen desarrollo de los cultivos de verano y no se registran daños por helada en la floración del trigo.

- Materia orgánica: el contenido de materia orgánica es de 4,9-5,3%, pero hay lomas con mayor porcentaje de arena, que tienen menor productividad por su menor capacidad de retención hídrica, y ambientes con suelos thapto que limitan el desarrollo de las raíces de los cultivos de verano.

Cultivos de servicios

- Experimentación: junto con INTA y Aapresid, se evalúan desde hace tres años distintas opciones que podrían ser implementadas dentro de la rotación. Entre ellas, se trabaja con

la siembra aérea de cultivos de servicio en cultivos de gruesa, y con sembradora sobre rastrojos de fina y girasol, con y sin pastoreo. Las especies más utilizadas son triticale, centeno o avena + vicia o trébol persa.

- Agua en el perfil a la siembra del cultivo de gruesa: cuando los cultivos de servicio se terminan en forma muy temprana, la biomasa acumulada es poca (aproximadamente 3500 kg/ha de MS), por lo que deja de cumplir parte de sus objetivos. Por ello, se realiza el barbecho unos 30-35 días antes de la siembra. De este modo, luego del cultivo de servicio se siembra el cultivo de gruesa en noviembre. Hasta el momento, las lluvias –tanto las ocurridas en el período de barbecho como en el ciclo del cultivo– no perjudicaron el rinde. Se comenzó con la siembra de cultivos de servicio en la segunda quincena de marzo, pero luego se la adelantó a principios de febrero para contar con un gran crecimiento en el otoño y no depender del crecimiento de principios de la primavera.

- Cobertura de rastrojos: a menudo, el aumento de cobertura perjudica la implantación y el crecimiento inicial del cultivo posterior. Esto debe ser manejado con mejoras en los sistemas de siembra de la gruesa y la inclusión de menos gramíneas en la rotación (algo difícil de concretar en la actualidad, dado que son las de mayor margen bruto).

- Tipo de siembra: la rotación y las temperaturas dejan poco espacio para los cultivos de servicio con sembradora. Las siembras a voleo tienen, a menudo, bajos y desparejos porcentajes de logro. Además, se dispone de muy pocas sembradoras Altina en la zona. Se investiga cuáles son las especies menos afectadas por la mala distribución con avión, y las que presentan menor daño por las plagas de suelo al sembrarse a voleo. También se evalúan siembras en el entresurco en maíces de segunda en V6, y las especies menos susceptibles al daño por plagas (por ejemplo, los tréboles son más susceptibles que las vicias).

- Plagas: hasta el momento no aumentaron las poblaciones de plagas que suelen refugiarse en el rastrojo, tal como ocurre con los bichos bolita: esta es una plaga que impide el logro de girasol y la soja, y tiene un costo de control elevado. Lo mismo sucede con las babosas, aunque se trata de un problema menos difundido. Estas plagas afectan a los cultivos de servicio sembrados en otoño, lo que genera la necesidad de eliminarlas mediante el uso de cebos tóxicos, algo que atenta contra el objetivo de bajar el EIQ. Entre la implantación y los dos años posteriores al cultivo de servicio, en la zona costera se necesitan unos 4 kg/ha extra de cebo para combatir a los bichos bolita. El uso de productos biológicos también se probará; mientras tanto, los pastoreos ayudan a mitigar esta limitante.

- Método de terminado: hay pocos rolos *crimper* en la zona, lo que dificulta las pruebas. En otras regiones productivas se observa un elevado rebrote de los cultivos de servicio cuando se los finaliza con rolo en estadios vegetativos. Por ahora, la mayoría de ellos se terminó con aplicaciones de herbicidas (en altas dosis).

- Ganadería: se analiza el efecto del pastoreo sobre las propiedades físicas del suelo y la dinámica de malezas.

En el norte de la región, la dinámica de las rotaciones, la complejidad de los ambientes, el costo de los barbechos y la agresividad cada vez mayor de las malezas obligaron a repensar la agricultura. El primer acercamiento al cambio lleva más de 20 años: comenzó en 1999 y persiste hasta el día de hoy, con análisis desarrollados en un lote emblemático en la zona (Lote 9; Estancia Sol de Mayo), caracterizado por un aumento en la intensidad de la rotación. Allí se estudian parámetros químicos del suelo, tales como pH, porcentaje de materia orgánica, carbono liviano, relación C:N, etcétera.

Con el tiempo, las raíces cobraron una importancia superlativa, que provocó un aumento de la realización de cultivos de servicio. Las especies utilizadas son diversas: básicamente avena, centeno y trigo. Hace unos años, la vicia irrumpió en el sistema.

Los servicios más buscados con la inclusión de estos cultivos en una zona mixta apuntan en su mayoría a mantener un equilibrio entre cobertura y pastoreo. La fecha de quemado es fundamental por el consumo de agua, que puede complicar el cultivo de cosecha siguiente.

Queda claro que la región está transitando un camino que busca potenciar la producción a partir del cuidado del suelo, la disminución en el uso de herbicidas, el aumento en la diversidad de las especies, una reducción en el tiempo en que el suelo permanece descubierto y una mejora en la eficiencia de uso del agua. En definitiva, se analizan las prácticas necesarias para alcanzar un equilibrio en los agroecosistemas y hacerlos sostenibles.

Región Sudoeste

■ **Ing. Agr. Agustín Giorno**

Asesor del CREA San Eloy-Piñeiro

La sostenibilidad de los sistemas de producción puede ser abordada desde sus distintas dimensiones: ambiental, económica o social. Este artículo se centrará en algunas de las variables ambientales y económicas que configuran el diseño de los sistemas productivos en la región CREA Sudoeste. Es preciso, entonces, definir cuáles son las condiciones ambientales (climáticas, edáficas y de paisaje) que le dan marco a la producción.

En términos generales, la región presenta un clima templado, subhúmedo a semiárido, donde se distinguen diferentes paisajes productivos como consecuencia de la articulación entre el clima y los suelos predominantes. En las franjas este y norte de la región se encuentra un paisaje plano cóncavo donde predominan suelos alcalinos con escasa capacidad de drenaje; en él coexisten praderas implantadas con agropiro y campos naturales.

Los ambientes convexos intercalares representan entre el 10 y el 30% de la superficie y presentan una moderada aptitud agrícola, limitada por la textura y la profundidad efectiva. En contraste, las franjas oeste y sur se caracterizan por un paisaje más ondulado, con redes de drenaje mejor definidas y suelos de variada aptitud, condicionados principalmente por su profundidad efectiva.

Un denominador común en ambas subregiones es la preponderancia de sistemas de producción mixtos, con un uso de la tierra marcado por la alternancia entre ciclos agrícolas y ganaderos más o menos extensos.

Los contrastes entre subregiones, paisajes productivos y aptitud agrícola de los suelos implican grandes diferencias en las mejores estrategias productivas, tanto desde lo ambiental como desde un punto de vista económico. El denominador común es el elevado riesgo de déficit hídrico primavero-estival, que suele ser mitigado mediante el almacenamiento de agua útil en el perfil durante el período de barbecho. En ambientes plano-ondulados con suelos desarrollados (más de un metro de profundidad efectiva) el agua almacenada a la siembra redundante en incrementos de rendimiento de entre 20 y 40%, tanto en cultivos estivales como de invierno, respectivamente. Sin embargo, a medida que los suelos presentan mayores limitaciones de profundidad, esta práctica no reporta grandes beneficios para los cultivos de cosecha dada su

baja capacidad de almacenaje. Por otra parte, los suelos más limitados suelen ser más abundantes en subzonas o paisajes en los que predominan bajos o ambientes serranos, destinados principalmente a las actividades ganaderas.

Finalmente, es preciso considerar que los rendimientos medios de la región son moderados: 30 qq/ha en cultivos de invierno, 20 qq/ha en soja, 55 qq/ha en maíz y 19 qq/ha en girasol. De este modo, no existen diferencias de rentabilidad significativas entre las diferentes actividades agrícolas, ni tampoco al comparar los cultivos de cosecha con la ganadería. En consecuencia, la rotación suele ser balanceada, tanto para preservar la resiliencia de los sistemas como para hacer sostenible su resultado.

Estrategias

Dado este contexto irregular, en la región se pueden identificar dos grandes estrategias agrícolas que apuntan a la optimización de recursos. En ambientes profundos y bien drenados se busca almacenar agua durante los barbechos hasta la siembra de cada cultivo, de manera que el déficit hídrico en las etapas críticas sea compensado o mitigado en parte por las reservas del suelo. El almacenamiento de agua en el perfil depende de dos factores fundamentales: la duración del período de barbecho (probabilidad de lluvias) y la capacidad del sistema para almacenar el agua de las lluvias (eficiencia de barbecho). Este último factor suele estar condicionado por la estación en la que se barbecha (otoño e invierno presentan mayor eficiencia que primavera y verano), por la cobertura de rastrojos (mayor cobertura, menor evaporación directa) y por la presencia de malezas. Cabe destacar que la estación del año con mayor probabilidad de recarga es el otoño, fundamentalmente en los meses de marzo y abril, razón por la cual los cultivos otoñales como verdeos de invierno o cultivos de servicio pueden interferir con el almacenaje durante el barbecho.

De esta manera, el diseño de rotaciones para este tipo de ambientes debería apuntar a secuencias de cultivo tales como trigo-maíz-girasol-trigo-verdeo de invierno/soja. Además, este tipo de rotaciones puede alternar ciclos agrícolas con praderas perennes consociadas de 4 a 5 años de duración. Nótese que es posible realizar un cultivo forrajero anual (verdeo de invierno), pero sólo como antecesor de la soja, la cual ve diferido su período crítico. Por esta razón, el agua almacenada a la siembra no es capaz de explicar mejoras significativas en su rendimiento. Por el contrario, cultivos como el maíz o el girasol encuentran un beneficio consistente en barbechos prolongados. Adviértase asimismo que las rotaciones más recomendables para este tipo de ambientes presentan cuatro gramíneas y dos oleaginosas en un período de cinco años, lo que favorece la cobertura y la estructuración del suelo a través de las raíces.

En ambientes someros la estrategia principal y más recomendable cambia drásticamente. Dada su escasa capacidad de almacenaje, el éxito de un cultivo anual dependerá siempre de la sincronización entre la oferta de agua (lluvias) y la demanda del cultivo en etapas críticas (evapotranspiración en perfloración). Esta condición es estructural y no puede modificarse significativamente mediante el manejo de barbechos. Es así que las mejores prácticas se centran en capitalizar la oferta de agua en el momento en que ésta ocurre. A tal fin, es importante mantener el suelo en crecimiento durante la mayor cantidad posible de meses, preparado para capturar el agua de lluvias y convertirla en un producto de interés sin mediar tiempo ni desarrollo. Por ello, en estos ambientes se busca intercalar cultivos de cosecha con especies forrajeras anuales o praderas perennes adaptadas a ciclos de sequía esporádicos. A su vez, se busca la ocupación con cultivos que no exploren el perfil en profundidad, fundamentalmente gramíneas y soja.

El diseño de rotaciones para este tipo de ambientes debería apuntar a una secuencia de cultivos como trigo-verdeo de invierno/soja-cebada-verdeo de invierno/verdeo de verano. Por su parte, el ciclo agrícola suele alternarse con praderas perennes de duración variable (5 a 10 años), basadas en gramíneas puras (festuca, pasto ovillo, mijo perenne). Dado su uso más ganadero, y el disturbio que este genera en los primeros centímetros de suelo, estos ambientes pueden experimentar una mayor frecuencia de labores mecánicas, que pueden, eventualmente, eliminar la cobertura, pero permiten recuperarla rápidamente con la inmediata implantación de un nuevo cultivo anual (por lo general, una gramínea).

Consideraciones finales

El diseño de rotaciones en la región se presenta como una herramienta fundamental para el manejo sostenible de los sistemas. La ausencia de ventajas significativas de un cultivo por sobre los demás ofrece la oportunidad de implementar rotaciones heterogéneas en cuanto a la exploración de nichos por parte de los cultivos.

La coexistencia de sistemas de producción ganaderos en la inmensa mayoría de las empresas amplía aún más el panorama y permite disminuir los riesgos de estrés hídrico por tener como principal producto de aprovechamiento a la biomasa y no al grano. Sin embargo, se hace preciso comprender en qué medida un ambiente (clima, suelo, paisaje) expresa su potencial y sostiene su capacidad de resiliencia a partir de una rotación determinada. Un indicador de sobreexplotación de un nicho (por ejemplo, la secuencia trigo-trigo en suelos someros) puede ser la rápida invasión de especies adaptadas (crucíferas, raigrás) o bien la caída de determinadas fracciones orgánicas del suelo (N anaeróbico).

El balance entre cultivos de verano e invierno, la cosecha de grano o forraje o la alternancia de cultivos anuales monoespecíficos y cultivos perennes consociados se presenta como una clave para preservar los valores culturales del ambiente. Su análisis y comprensión, la implementación de prácticas prudentes y oportunas y la planificación empresarial a diferentes escalas temporales, redundan en un manejo sostenible de los sistemas productivos.

Región CREA Santa Fe Centro

■ Ing. Agr. Diego H. Pérez

Asesor de CREA Gálvez.

■ Mesa de Asesores de la región Santa Fe Centro

Las características agroecológicas de los ambientes productivos de la región CREA Santa Fe Centro fueron puestas *en jaque* hace cinco campañas: luego de tres ciclos consecutivos de anegamiento total, una vasta superficie de las empresas quedó alterada por los excesos hídricos sufridos. La inestabilidad de los sistemas quedó en evidencia y se hizo necesario encarar un fuerte proceso de aprendizaje para recuperar los suelos.

En aquel momento, los objetivos principales eran lograr una reducción en la altura de las napas, mejorar los valores de infiltración, estructura y población radical, promover un aumento en la diversidad de las rotaciones, una mejora en el balance de carbono y lograr una restitución de la actividad biológica que había sido alterada. En coincidencia, la problemática del control de malezas comenzaba a hacerse notoria. En ese contexto, varias empresas de la región comenzaron a realizar pruebas de adaptabilidad de distintas

especies sin finalidad de cosecha, alcanzando resultados exitosos que derivaron en una reducción de las aplicaciones de herbicidas.

Si bien continúa el aprendizaje, prácticamente nadie discute las ventajas de mantener el lote ocupado y en actividad todo el año, aunque aún se trabaja para identificar las prácticas de manejo que permitan optimizar los efectos buscados sin afectar el resultado de los cultivos de renta, y que, además, consideren las posibilidades de consumo parcial de estos cultivos como recurso forrajero en los sistemas agrícola-tamberos que constituyen la mayoría de las empresas de la zona.

Posteriormente, se agregaron objetivos de más largo plazo, donde los cultivos sin finalidad de cosecha son los principales actores a la hora de incrementar la diversidad y estabilidad del sistema, gracias a la mayor superficie en actividad durante el año. Dichos objetivos son numerosos y varían según la situación de cada empresa:

- Mejorar la dinámica del agua del suelo controlando niveles riesgosos de la napa freática (menos de un metro de profundidad), mejorar la infiltración y controlar la erosión.
- Controlar y uniformar la emergencia de malezas por una mayor cobertura del suelo y manejo de su temperatura, alelopatía, etcétera.
- Mejorar la fertilidad a partir de una mejora en el balance de carbono, de la mayor actividad biológica y, por ende, de los valores de materia orgánica.
- Reducir costos y presión del uso de insumos tradicionales (básicamente fertilizantes y fitosanitarios para el control de malezas y enfermedades).

Para cumplir con la premisa básica de no alterar la productividad de los cultivos de renta, se identificaron varios ítems a los cuales conviene prestar especial atención, tales como:

- Evolución de la dinámica del agua, básicamente a partir del manejo de la oportunidad y método de finalización del cultivo de servicio, para no consumir agua que luego necesitará el cultivo principal.
- Costo de la semilla por utilizar. Este es un insumo básico por lo que se procura alcanzar una producción suficiente y autónoma.
- Evitar que el área dedicada al cultivo sin finalidad de cosecha no compita con el porcentaje de ocupación previsto para otros cultivos de invierno (trigo, cebada, arveja y otros de uso forrajero).
- Alcanzar un nivel de biomasa que asegure el cumplimiento de los objetivos, especialmente cuando su uso principal se enfoca en el control de malezas. Prácticas como la fertilización racional del cultivo o el uso de especies en mezclas de gramíneas y leguminosas con inoculación específica son las herramientas de mayor éxito para asegurar un valor de producción de materia seca de entre 4000 y 7000 kg/ha.

Actualmente, el foco está puesto en el uso de unas pocas especies que demostraron, a lo largo de todas estas campañas, una versatilidad y adaptabilidad suficientes como para permitir una implantación y un manejo sencillo del sistema.

Las especies de mayor difusión son *Vicia villosa* o *sativa*, pura o en mezclas de proporción variable, junto con *Avena strigosa* o *A. sativa* y centeno. Es también frecuente el uso de raigrás, especialmente en sistemas de producción mixtos donde puede hacerse un aprovechamiento parcial como recurso forrajero.

El uso de leguminosas en mezclas con gramíneas logra una sinergia de aptitudes de servicio en el lote. La leguminosa fija el nitrógeno que será usado por el cultivo sucesor y adquiere un mejor porte de crecimiento gracias al “soporte” brindado por la estructura de planta de la gramínea, que, a su vez, aporta un generoso sistema radicular y un buen volumen de masa vegetal aérea, sin sacrificar en mayor medida el nitrógeno originalmente presente.

También considera el uso de algunas especies del género *Brassica*, pero su uso no se generalizó por ciertas características observadas que exigen su reconsideración (el elevado consumo de agua, dificultades en la finalización del cultivo, presencia posterior dentro del banco de malezas del lote, dificultades de implantación que luego se traducen en menor cobertura, etcétera).

En lotes de aptitud media o alta, las rotaciones pasaron de mantener o incrementar la productividad de los cultivos de renta a aumentar el nivel de ocupación en 1,8 cultivos por año respecto del valor habitual de 1,5 cultivos por año. En los sistemas que adoptan en forma sistemática cultivos de servicio, la tradicional secuencia soja de primera-trigo/soja de segunda-maíz hoy se transformó –según el contexto de precios y la recarga del perfil que presente cada campaña en particular– en alternativas como trigo/soja de segunda-cultivo de servicios/maíz tardío- soja de primera; trigo/soja de segunda-trigo/maíz de segunda-cultivo de servicios/soja de primera, y trigo/soja de segunda-maíz temprano-cultivo de servicio/soja de primera.

En estos esquemas, el maíz tardío se planifica siempre con algún cultivo de cobertura previo compuesto por una mezcla de gramíneas y leguminosas. La siembra a voleo con maquinaria de distribución a péndulo previo a la soja, con el cultivo antecesor en pie, permite adelantar fechas de siembra de los cultivos de servicio y lograr ciclos de 100-120 días con producciones de 4000 a 6000 kg/ha de MS.

Al ser una zona donde las empresas son en gran parte mixtas, el maíz/sorgo de picado ocupa un área importante, sea temprano o de diciembre, lo que permite la implantación de cultivos de servicios de manera anticipada. En campos “satélites” de uso agrícola cercanos a las unidades de ordeño o en caso de lotes periurbanos de dichas empresas, los cultivos de servicio también tienen un gran impacto al cumplir las funciones mencionadas, adicionando el potencial de producción de forraje.

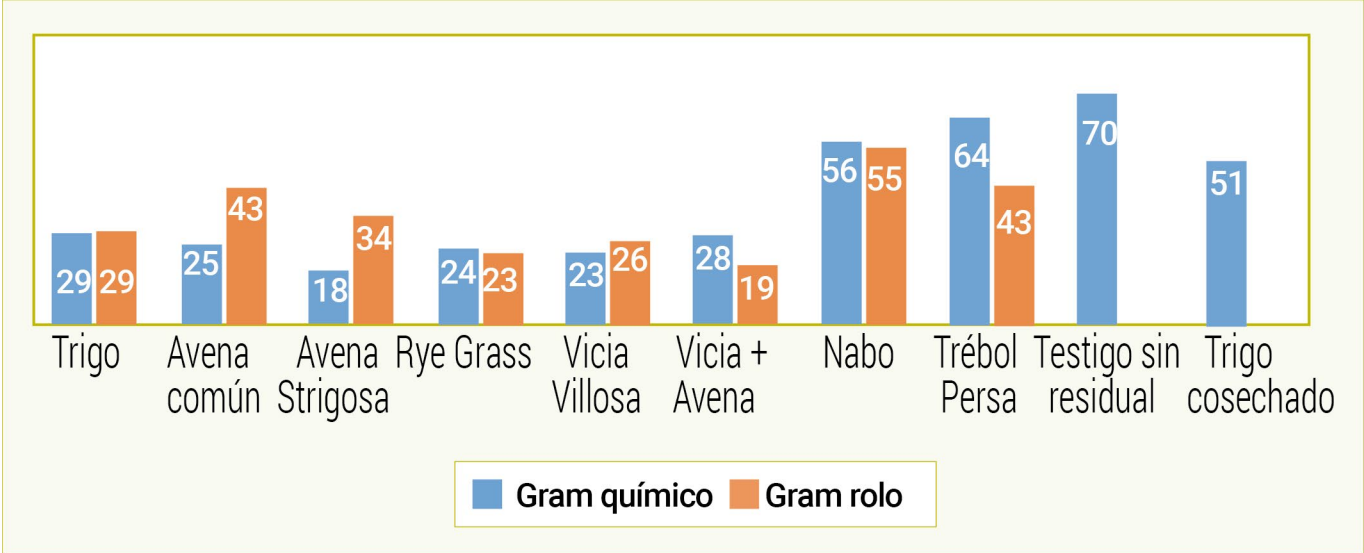
A continuación, se presentan a modo de ejemplo los resultados en el cultivo sucesor (efectos de mediano y largo plazo) en relación a las distintas secuencias evaluadas en el ámbito del CREA Gálvez, perteneciente a la subregión sur de la zona Santa Fe Centro. Nótese el impacto de la adición de una instancia de fijación de nitrógeno gracias a la incorporación al sistema de legumbres como cultivos de servicio previo al cultivo de maíz.

A esta mayor diversificación e intensificación de uso del sistema hay que agregar, además, una reducción promedio del EIQ de un 30 a 45% con respecto al esquema de uso de herbicidas de un barbecho químico tradicional.

La *performance* en el control de malezas es indiscutible. A modo de ejemplo, se muestran los conteos relevados en uno de los sitios de ensayo del Proyecto Malezas de CREA, 35 días después de la finalización del cultivo, tanto de manera química como mecánica, en distintas especies (gráfico 21).

Tal como se mencionó, se suman con éxito las alternativas de siembra anticipada por avión sobre los cultivos todavía en pie de maíz y las siembras con maquinaria de distribución a voleo por sistema de péndulos, que permiten capturar diferentes oportunidades de siembra y agregar alternativas de uso del parque de maquinaria existente.

Gráfico 21. Recuento de malezas por tratamiento
Gramíneas anuales (pl/m²)



Sin embargo, aún deben ajustarse algunas cuestiones de manejo, tales como la sanidad de los cultivos sin finalidad de cosecha (especialmente *Ramularia sp.* en el cultivo de vicia), la nutrición de gramíneas puras y el método de finalización mecánica (tipo de rolo utilizado, estado fenológico óptimo para la finalización de cada especie, necesidad de reforzar con control químico posterior, etcétera). Se incluyen mediciones tomadas 15 días después del rolado y su efecto sobre la supervivencia de plantas, según especie y estado fenológico (cuadro 7).

En conclusión, el sistema en general se complejiza para sumar herramientas que le permitan ganar sostenibilidad y reducir el costo ambiental del sistema productivo tradicional.

Cuadro 7. Cultivos de servicio: supervivencia de plantas después del rolado		
Tratamiento	Estado fenológico	Control con rolo (%)
Trigo	90% espigazón	90
Avena sativa	80% espigazón	60
Avena strigosa	90% espigazón	90
Raigrás	20% espigazón	10
Vicia	70% floración	90
Vicia + Avena sativa	70% floración	70
Nabo	100% floración	80
Trébol persa	100% floración	10

Bibliografía

Lescano, M., S. Prieto Angueira. "Efecto del centeno de cobertura secado en diferentes momentos como cultivo posterior a maíz ensilado". *Actas XXVI Congreso Argentino de Ciencia de Suelo*. Compilado por G.A. Sanzano, et al. Asociación Argentina de Ciencia de Suelo. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Pp 1132. San Miguel de Tucumán, Argentina. 15 al 18 de mayo de 2018. ISBN 978-987-46870-0-5. 2018.

Prieto Angueira, S. Panel: "Nuevos conocimientos en ecofisiología de la soja y su impacto en las tecnologías de producción. En el norte argentino, ¿podemos producir soja con mayor productividad del agua?". *Mercosoja* 2019. 4 y 5 de septiembre de 2019. Rosario, Argentina. 2019. <http://www.mercosoja2019.org.ar/prieto-angueira-salvador/> Acceso: 14/04/2020.

Enrico, J. M.; Piccinetti, C. F.; Barraco, M. R.; Agosti, M. B.; Ecclesia, R. P.; Salvagiotti, F. "Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: Response to inoculation and residual effect on maize in the Pampean región". *Eur. J. Agron.* 115, 126016. 2020.

Giménez, R., Mercau, J. L.; Houspanossian, J.; Jobbágy, E. G. "Balancing agricultural and hydrologic risk in farming systems of the Chaco plains". *Journal of Arid Environments* 123: 81-92. 2015.

Kovach, J.; Petzoldt, C.; Degni, J.; Tette, J. "A method to measure the environmental impact of pesticides". *New York's Food and Life Sciences Bulletin* 139, 1-8. 1992.

Prieto Angueira, S.; Berton, M. C.; Ventura, J. "Efecto de los cultivos de servicio sobre la disponibilidad de agua y nitrógeno y el rendimiento en el cultivo de maíz en Santiago del Estero". *Simposio de Fertilidad*. Compilado por M.F. González Sanjuan y F.O. García. Fertilizar Asociación Civil. Pp 272-277. Rosario, Argentina. 8 y 9 de mayo de 2019. Disponibles online en: <https://www.fertilizar.org.ar/subida/evento/Simposio2019/ActaSimposioFertilidad2019.pdf>

Prieto Angueira, S.; Berton, M.C.; Ventura, J. "Cultivos de cobertura en Santiago del Estero: II. Dinámica en el contenido de agua del suelo y costo hídri-

co". Actas *XXVI Congreso Argentino de Ciencia de Suelo*. Copilado por G.A. Sanzano, *et al.* Asociación Argentina de Ciencia de Suelo – AACCS. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Pp 1275-1280. San Miguel de Tucumán, Argentina. 15 al 18 de mayo de 2018. ISBN 978-987-46870-0-5. 2018.

Ritchie, S. W.; Hanway, J. J. *How a corn plant develops*. Special report 48. Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service, Ames IA. 1982.

Sistemas productivos sostenibles : bases y experiencias para repensar el modelo de producción agrícola y sus relación con la ganadería / José Andrade... [et al.] ; compilado por Emilio Satorre.- 1a ed compendiada.- Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola - AACREA, 2020.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-1513-31-4

1. Agronomía. I. Andrade, José. II. Satorre, Emilio, comp.
CDD 631.34

Fecha de catalogación: 3 de septiembre de 2020.

CREA
Área de Comunicación
Sarmiento 1236, 4º piso (C1041AAZ)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
www.crea.org.ar
(54-11) 4382-2076/79

Director editorial: Fernando de Nevaes
Edición y coordinación del proyecto: Mariela Suárez
Diseño de tapa e interiores: René Durand
Fotografías: Archivo CREA, Pablo Oliveri.
Foto de tapa y portadas: Adobe Stock.

ISBN 978-987-1513-31-4
Hecho el depósito que indica la ley 11.723

Primera edición: Septiembre 2020



Todos los derechos están reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, en todo ni en parte, ni registrada o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea este mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin permiso previo por escrito de CREA.



Apoyan las publicaciones de CREA

Patrocinantes



Auspiciantes



www.crea.org.ar

