



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



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

Editores: Jorge ULLÉ & Beatriz M.DIAZ



SOCLA

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

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

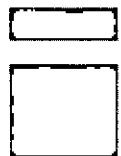
Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-521-948-9

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

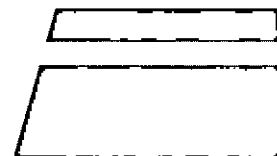
© 2018, Ediciones INTA

Libro de edición argentina

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



INTRODUCCIÓN



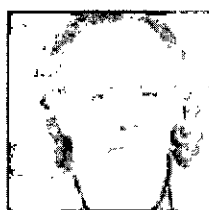
EL SUELO COMO REACTOR DE LOS PROCESOS DE REGULACIÓN FUNCIONAL DE LOS AGROECOSISTEMAS



Luis Antonio
Milesi Delaye¹



Adrián Enrique
Andriulo¹



Jorge Ángel Ullé²



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROPECUARIA PERGAMINO
CENTRO DOCUMENTAL

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

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

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



Introducción

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

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

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

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

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

- La intensificación, en donde es frecuente la adición de plaguicidas, una cobertura vegetal manejada inadecuadamente, alta extracción de nutrientes y deficiencias en el análisis de calidad de los suelos.

- Los cambios en el uso de la tierra, debidos a una mala adecuación del uso de la tierra a la capacidad inherente así como a la fragmentación y expansión urbana.

- Del legado, dado por los impactos pasados derivados de la agriculturización de los pastizales, la deforestación.

El Legado en el corazón de la Pampa Húmeda

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

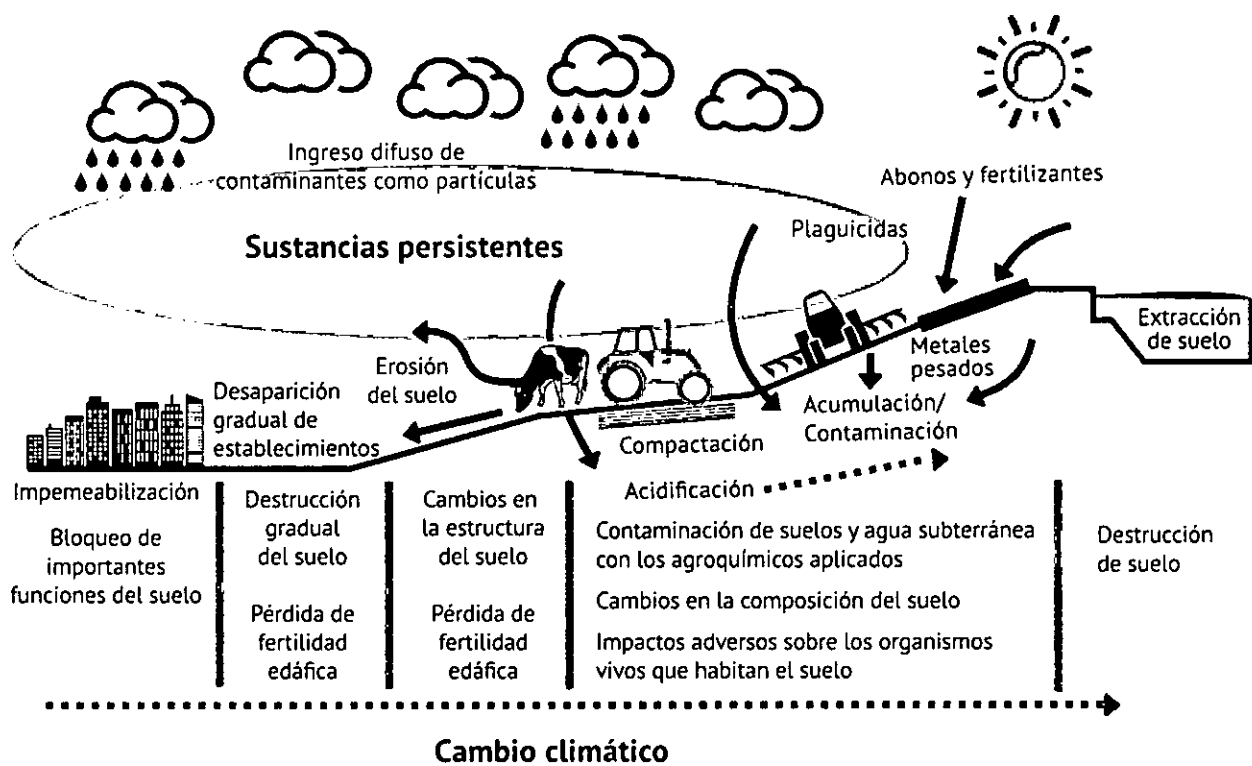


Figura 1. Amenazas e impactos sobre el recurso suelo (adaptado de Blum, 2013).

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

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

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

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

Una subregión natural de ésta región es la Pam-

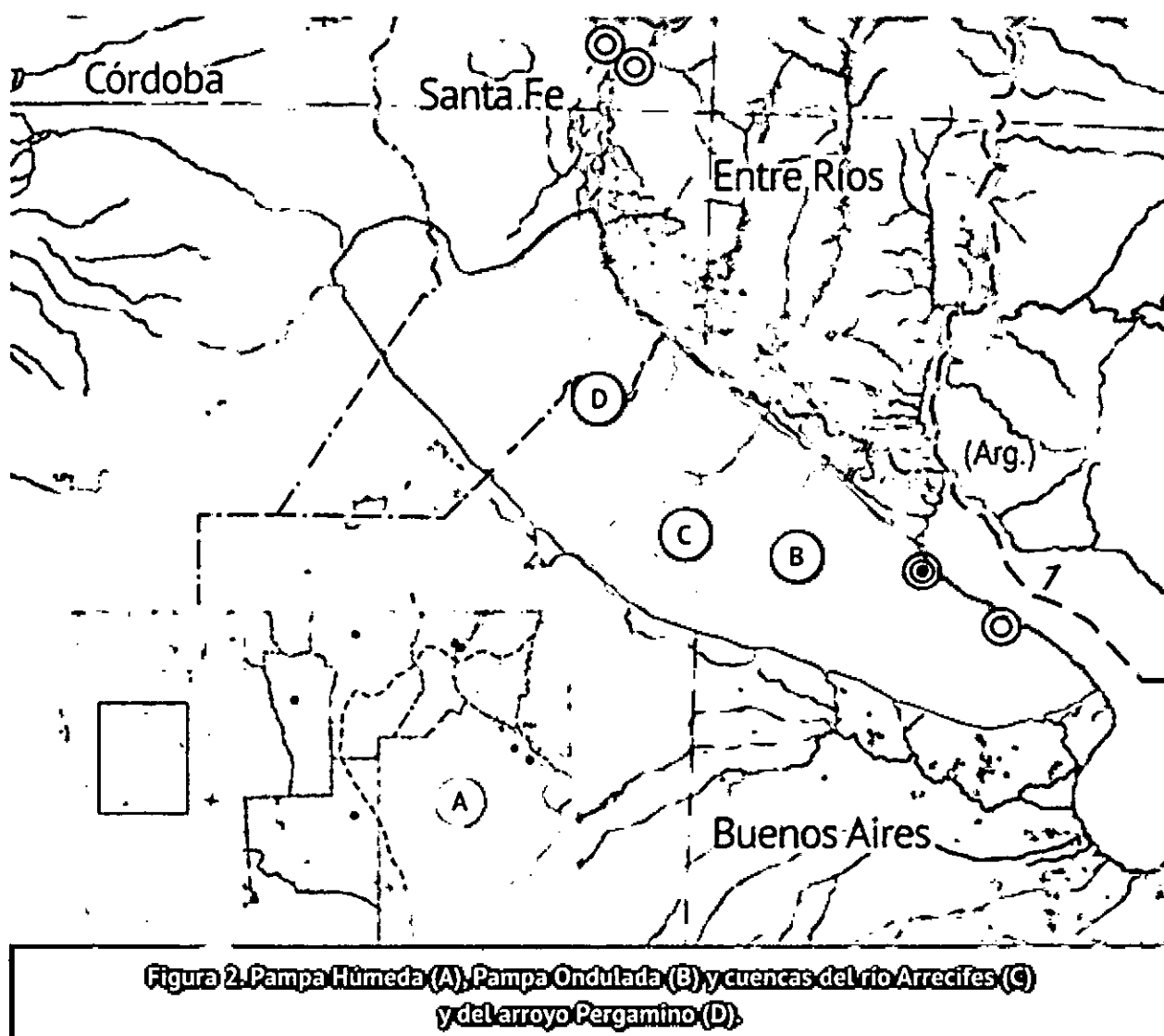


Figura 2. Pampa Húmeda (A), Pampa Ondulada (B) y cuencas del río Arrecifes (C) y del arroyo Pergamino (D).

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

Cambios en los sistemas productivos y sus principales impactos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

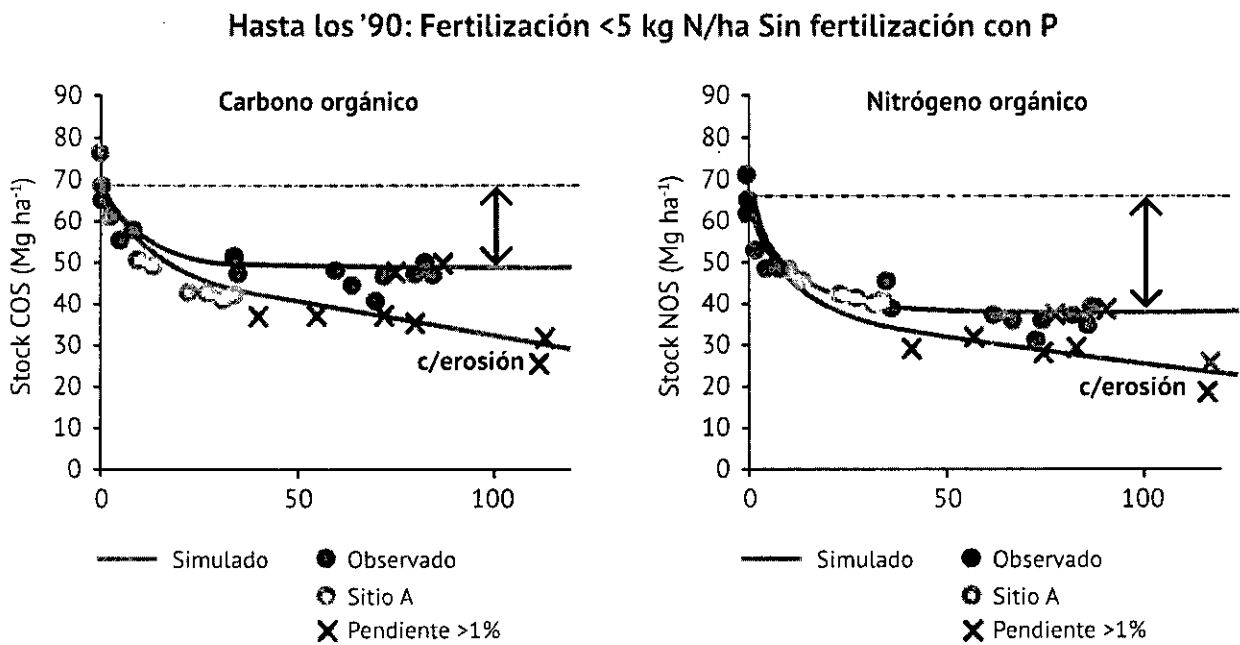


Figura 3. Evolución de las reservas de carbono y nitrógeno del suelo para 80 años de agricultura continua bajo laboreo convencional.

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

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

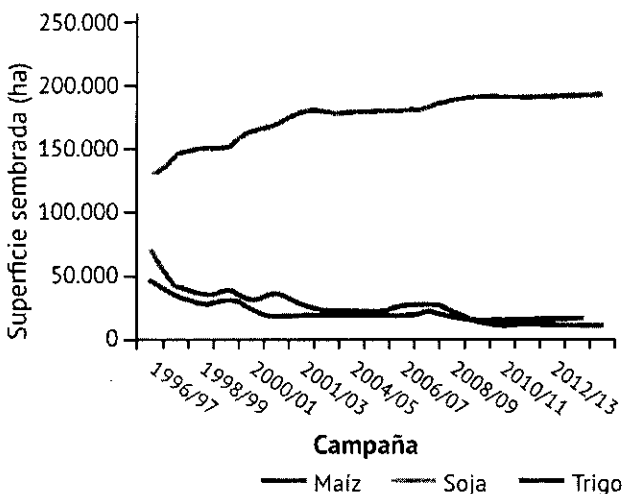


Figura 4. Evolución de la superficie ocupada por maíz, trigo y soja para el período 1996-2014 en el partido de Pergamino.

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

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

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

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

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

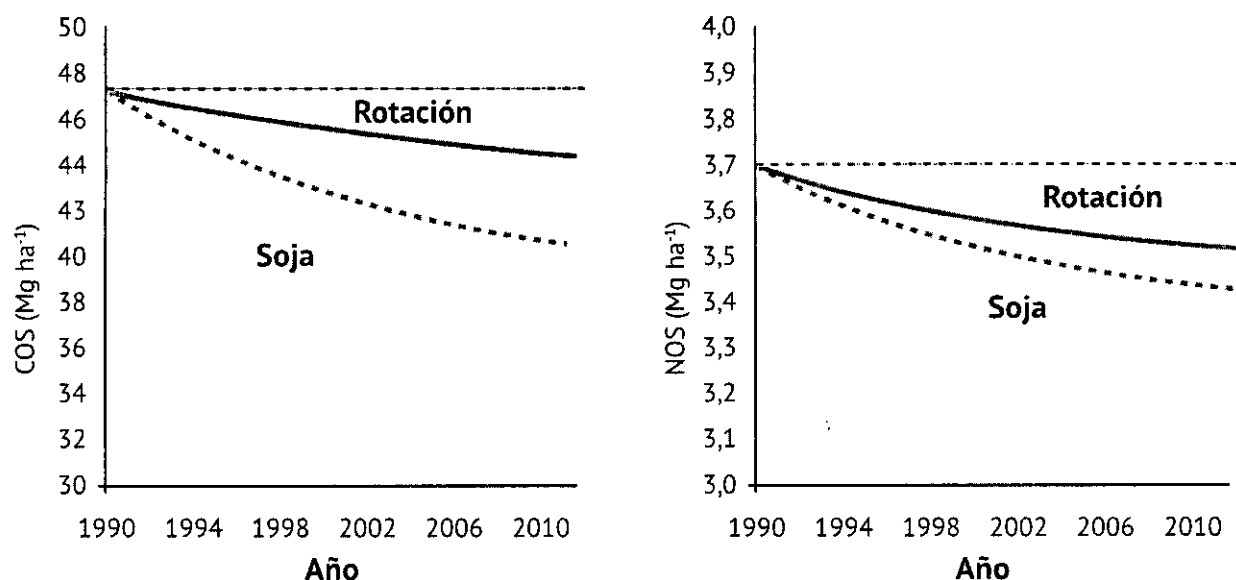


Figura 5. Evolución de las reservas de Carbono y Nitrógeno orgánicos del suelo (COS y NOS) en rotación y monocultivo de soja luego de la introducción de la siembra directa continua en la región.

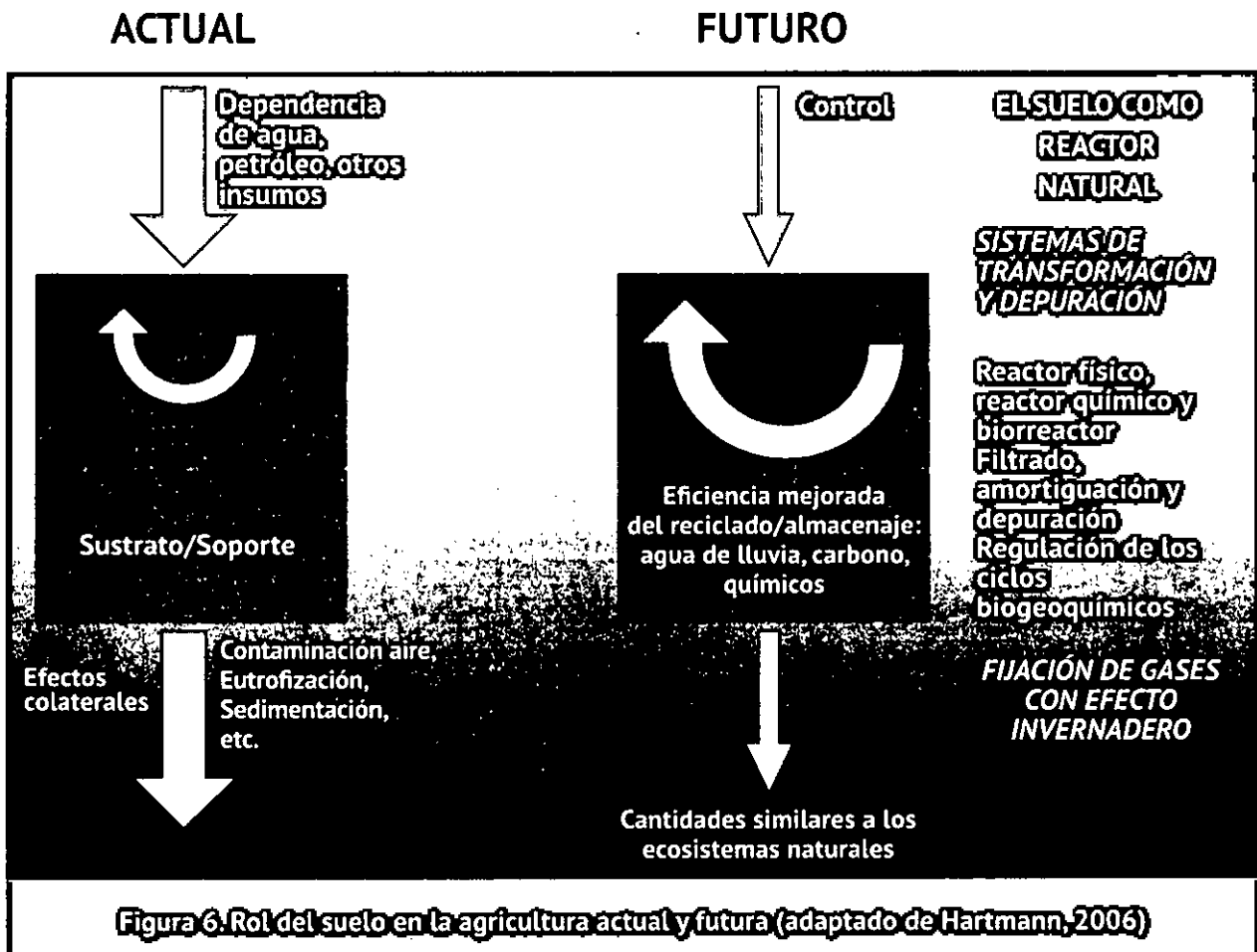


Luego de haber planteado algunos de los impactos más importantes de la historia agrícola de la Pampa Ondulada, podemos decir que el monitoreo del ambiente superó la etapa de diagnóstico.

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

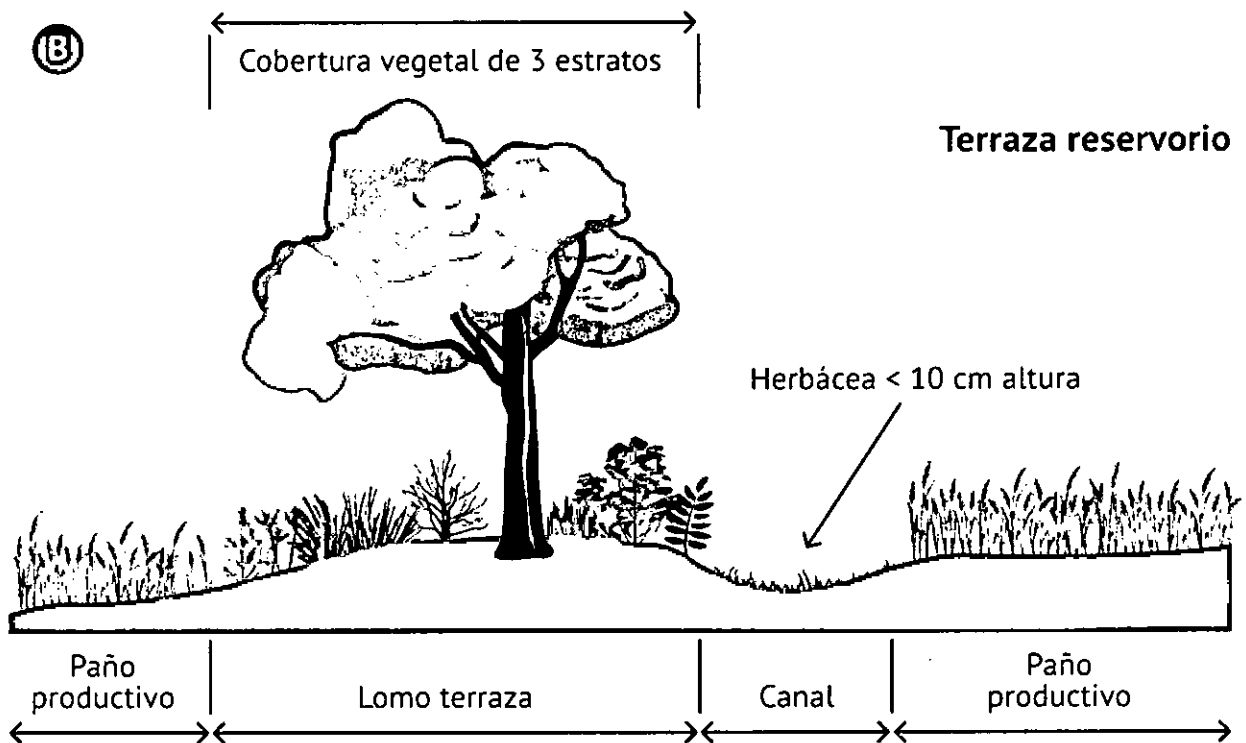
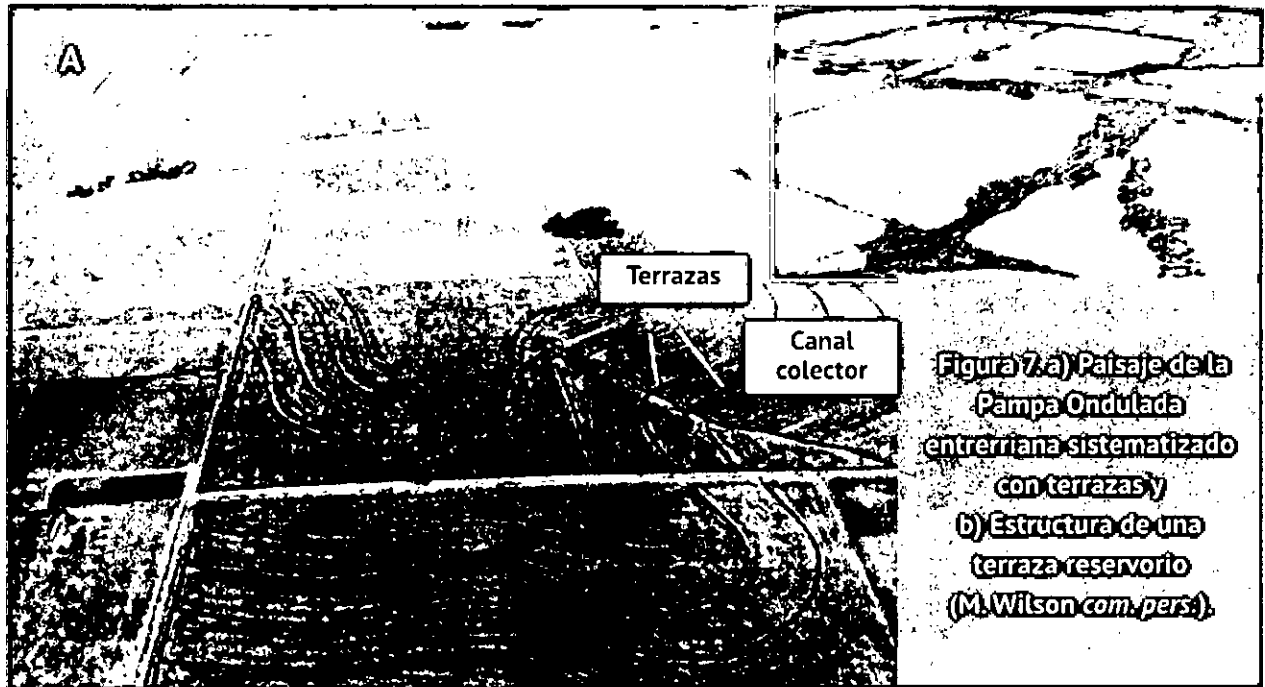
El reto consiste en hacer frente a múltiples y disímiles desafíos, principalmente, asociados a problemáticas ambientales, de seguridad alimentaria y salud, de forma simultánea en un mundo transversalizado por el cambio climático (fuerzas impulsoras). Dentro de estos, reducir el uso de plaguicidas, de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



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

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

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



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

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

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

Bibliografía

Adamo SB. 2012. The Growing Importance of Urban–Rural Interfaces: Current Demographics and Their Future Implications. In *Urban–Rural Interfaces: Linking People and Nature* (Laband DN, Lockaby BG, Zipperer WC eds). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Crop Science Society of America, pp. 1-13.

Altieri MA. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93(1–3): 1-24

Álvarez CR, Micucci FG, Bustingorri C, Taboada MA. 2010. Pedotransfer functions to estimate proctor test parameters under different tillage systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34:1787-1793.

Álvarez R, Díaz RA, Barberob N, Santanatoglia OJ, Blotta L. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil and Tillage Research* 33: 17-28.

Álvarez R, Russo ME, Prystupa P, Scheiner JD, Blotta L. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agronomy Journal* 90: 138-143.

Álvarez R, Steinbach H. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research* 104: 1-15.

Andriulo AE, Guérif J y Mary B. 1999. Evolution of soil carbon with various cropping sequences on the rolling pampas. Determination of carbon origin using variations in natural ¹³C abundance. *Agronomie* 19: 349-364.

Andriulo A, Sasal MC, Irizar AB, Restovich SB, Rima-



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

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

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

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

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

