



Foto: Guillermo Siri-Prieto

Costos ocultos de la intensificación agrícola

Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Dr. Ciencias Agrarias. Departamento de Producción Vegetal. Fagro, EEMAC. oernst@fagro.edu.uy

Armén Kemanian

Ing. Agr. PhD. Department of Plant Science, The Pennsylvania State University, USA. kxa15@psu.edu.

Santiago Dogliotti

Ing. Agr. PhD. Departamento de Producción Vegetal. Fagro, CRS. sandog@fagro.edu.uy

INTRODUCCIÓN

Considerando Uruguay, Argentina, Bolivia, Paraguay, y el sur de Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, y Paraná), la superficie agrícola se incrementó en 6,2 millones de ha en los últimos 20 años. El principal cultivo es soja (63 %), pero también incluye maíz (19 %) y trigo (21 %) en rotación (www.fao.org/faostat).

El incremento de superficie sembrada no es un fenómeno inédito. Uruguay integra una región que produjo el alimento necesario para el mundo en la década 1940-1950, cuando Europa se sumergió en la Segunda Guerra Mundial, y también a partir del año 2002, cuando a impulso de China, la demanda de soja estimuló la agricultura. América del Sur, especialmente la zona subtropical y templada, tenía una capacidad de producción latente mayor que América del Norte. Como consecuencia, el área de cultivos anuales se incrementó exponencialmente. En Uruguay creció desde menos de 350.000 ha en el año 2002 a más de 1.500.000 ha. El 70 % del crecimiento ocurrió en la zona agrícola tradicional (Departamentos de Colonia, Soriano, Río Negro y Paysandú), a expensas del tiempo de la rotación ocupada por pasturas, por lo que el sistema se transformó desde agricultura rotando con pasturas en agricultura continua sin laboreo. El 30 % restante del crecimiento reemplazó pasturas naturales, expandiendo el área cultivada hacia otras zonas del país. En este período la soja se transformó en el cultivo más importante, integrándose como doble cultivo anual con trigo y cebada en un 30 a 40 % de la superficie (DIEA, 2019).

El cambio puede considerarse un proceso de intensificación agrícola en la medida de que, al eliminar la fase de pastura, duplicó la producción acumulada de grano por unidad de superficie y tiempo (Ernst y Siri Prieto, 2011). Sin embargo, para

que el proceso pueda ser calificado como de “intensificación sostenible”, requiere de la planificación de sistemas agrícolas diversificados, lo que se contrapone a sistemas de cultivos simples, dominados por el cultivo que genera la mayor renta. Este conflicto entre objetivos puede ser total o parcial. Producir lo que requiere el mercado mundial se puede contraponer a la diversificación del sistema de producción; incrementar el retorno económico se puede contraponer a reducir el impacto ambiental de la actividad; los granos se exportan, la degradación del suelo y la polución quedan. Si bien el proceso fue responsable de gran parte del crecimiento económico del país, este conflicto lo ubica entre culpable y víctima de los daños ambientales.

La intensificación de la agricultura fue sostenida por dos paradigmas de la agricultura moderna: i) eliminar el laboreo tiene efecto positivo sobre la calidad del suelo; ii) en sistemas agrícolas, la rotación de cultivos mejora el rendimiento de estos. El corolario de estos paradigmas sería que, como se están controlando los procesos de degradación del suelo y el nitrógeno aportado al sistema por fijación simbiótica durante los años de pradera puede compensarse con fertilización nitrogenada, sustituir el tiempo en pasturas de una rotación pasturas-cultivos por agricultura continua sin labranza no debería tener impactos negativos sobre la calidad del suelo ni sobre el rendimiento de los cultivos. El nuevo esquema permitiría aumentar la capacidad de producir grano y, bajo las condiciones dominantes de mercado, mejoraría la rentabilidad de la empresa. Pero la implementación de estos paradigmas a nivel comercial fue parcial, lo que condicionó el logro de los objetivos. El análisis detallado de experimentos y relevamiento de sistemas productivos comerciales de la región demuestran que los esperados impactos positivos sobre el carbono orgánico del suelo dependen del nivel de origen y productividad del sistema (Álvarez 2005, Morón *et al.*, 2012, Mazzilli *et al.*, 2014, 2015), disponibilidad hídrica y ajustada fertilización nitrogenada (Álvarez y Steinbach, 2009; Pittelkow *et al.* 2015).

Luego de más de 20 años de siembra sin laboreo de manera continua, comenzaron a manifestarse problemas atribuibles a la compactación del suelo, cuantificados como cambios en la estructura de los agregados del suelo y su consiguiente efecto sobre las propiedades hídricas del suelo, específicamente la velocidad de infiltración del agua y conductividad hídrica del suelo (Sasal *et al.*, 2006; Sasal *et al.*, 2017). Estos problemas de degradación del recurso suelo cuestionan la sostenibilidad del cambio implementado, sobre el cual existe escasa información que permita valorarlo en términos de productividad actual y, en especial, sobre sus impactos en la “productividad futura”, ambas definidas como requisito para la calificación de “intensificación sostenible”.

Como las mismas propiedades que soportan la productividad contribuyen al buen funcionamiento de los servicios ambientales que cumple el suelo, el rendimiento de los cultivos puede ser utilizado como integrador resultante de los cambios en la calidad del suelo impuestos por el sistema de cultivos en el mediano o largo plazo, lo que resulta útil para valorarlos en términos de producto. Este fue uno de los objetivos de un proyecto de investigación ejecutado en el marco de un convenio de cooperación entre Facultad de Agronomía y FUCREA, con financiación del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (INIA_FPTA 303).

La hipótesis es que el sistema de cultivos dominante en el litoral agrícola de Uruguay generó una degradación lenta de propiedades del suelo que, acumulada en el tiempo, afectó las funciones del suelo, limitando progresivamente el rendimiento alcanzable de cultivos. Esto genera una brecha de rendimiento

definida como la diferencia con el rendimiento actual explicada por pérdida de la capacidad de producir del suelo (función productividad), que no puede ser levantada por incremento en fertilización nitrogenada.

En este artículo se resume la respuesta a tres preguntas secuenciales planteadas en el trabajo:

1. El cambio del sistema de cultivos, desde cultivos anuales rotando con pasturas plurianuales al sistema de cultivo dominante de agricultura continua con predominancia de soja, ambos sin labranza, ¿logró cumplir con la premisa de al menos mantener la producción de grano y la calidad del suelo?
2. Frente a la respuesta negativa, ¿qué propiedades del suelo se transforman progresivamente en limitantes del rendimiento? ¿Se explica sólo por reducción en la oferta de nutrientes?
3. El posible efecto negativo generado por la agricultura continua con predominancia de soja, ¿puede ser mitigado con el rediseño del sistema de cultivo?

Para responder la primera pregunta se utilizó una base de datos con 1073 registros de manejo y producción de chacras de productores de trigo integrantes de FUCREA. Se ajustó una función de frontera estocástica para el rendimiento alcanzable, definido como el decil superior de rendimiento obtenido para cada combinación de variables que definen el rendimiento (lluvia, temperatura, radiación, cultivar, fecha de siembra), limitan el rendimiento (zona y años de agricultura continua como estimadores de la calidad del suelo y fertilización) o que reducen el rendimiento (cultivo antecesor como estimador del riesgo sanitario).

Para responder la segunda pregunta, se instalaron 80 experimentos en chacras de trigo, incluyendo cultivos como cabeza de rotación o luego de entre 1 a 10 años de agricultura continua (AAC), todos sobre rastrojo de soja de primera. Se comparó el rendimiento de trigo obtenido fertilizando acorde a criterios y dosis recomendadas actualmente, definido como “frontera de producción bajo tecnología actual”, contra el rendimiento bajo condiciones no limitadas por nutrientes, definido como “frontera de rendimiento no limitada por nutrientes”. Para ellos se fertilizó con dosis suficientes de N, P, K y S de manera de que no limiten el rendimiento. La diferencia de rendimiento entre ambos manejos, dentro de cada nivel de AAC, representa la brecha de rendimiento atribuible al suministro de nutrientes. Comparando las fronteras para diferentes disponibilidad de nutrientes se estima la capacidad de que, modificando el suministro de nutrientes, se mitiguen posibles efectos negativos de los años de agricultura continua. Los resultados corresponden a efectos generados bajo condiciones de secuencias y manejo de cultivos implementados actualmente a nivel comercial, pero seleccionando solo antecesor soja de primera. De esta manera se redujo el riesgo de que el rendimiento estuviera comprometido por factores reductores, a lo que se sumó aplicación de fungicidas de manera preventiva. En ambos casos, el número de años de agricultura continua después de la última fase con pastura perenne en la rotación fue utilizado como indicador del grado de intensificación agrícola.

Para responder la tercera pregunta, se utilizó un experimento de largo plazo en el que se comparan sistemas de cultivos en los que la agricultura rota con pasturas contra agricultura continua con alta frecuencia de doble cultivo anual compuesto por cultivo de invierno/soja, cultivo de invierno/sorgo o barbecho invernal/soja (un cultivo por año).

Respuesta a la pregunta 1: el proceso de intensificación implementado generó una reducción cuantificable tanto en la frontera de rendimiento alcanzable como en el rendimiento actual cuando las condiciones climáticas entorno al período crítico de definición del rendimiento de trigo no fueron favorables para el cultivo (Figura 1).

condiciones climáticas. En tanto, alargando la fase agrícola a más de 5 años, el rendimiento se mantuvo entre 5,5 y 6,0 Mg ha⁻¹ sólo bajo condiciones de ambiente favorables para el cultivo. Cuando se combinaron más de 5 años de agricultura continua y ambiente climático desfavorable para el cultivo, el rendimiento alcanzable estuvo por debajo de 4 Mg ha⁻¹. Interpretamos este resultado, además de la pérdida de rendimiento, como un incremento del riesgo inherente a la producción.

El hecho de que el efecto negativo se manifieste sólo en años en los que las condiciones de lluvia y temperatura determinan menor rendimiento, es una dificultad para valorar el efecto negativo de los años de agricultura ya que, en general, se tiende a adjudicar el 100 % de la reducción del rendimiento a las condiciones climáticas desfavorables del año. Por otro lado, la pérdida de rendimiento resultó importante al comparar fases agrícolas con duración contrastante, lo que revela que la respuesta resulta de un proceso de pérdida anual acumulada de la calidad del suelo. Comparando el rendimiento alcanzable de trigo sembrado como cabeza de rotación (primer cultivo pos pastura) en un año climáticamente desfavorable contra el alcanzable luego de 10 años de agricultura continua, la diferencia media esperada es de 790 kg ha⁻¹. En tanto, sólo sería de 79 kg ha⁻¹ comparando 9 contra 10 años de agricultura. Si se lo compara como el rendimiento actual (promedio de cada categoría), la diferencia entre estas situaciones sería 590 contra 59 kg ha⁻¹ respectivamente.

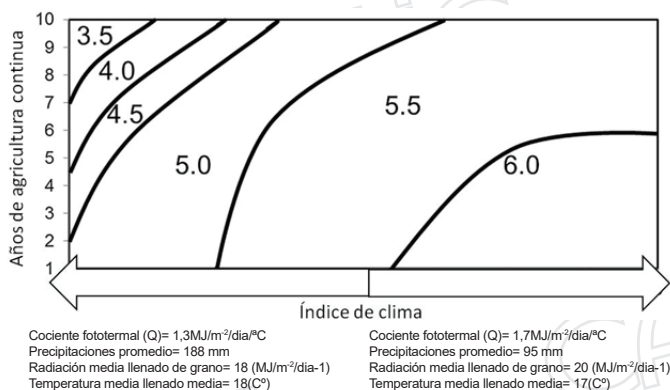


Figura 1. Isolíneas de rendimiento alcanzable de trigo (Mg ha⁻¹) en función de los años de agricultura continua y la oferta de clima entorno a floración y durante el llenado de grano (Índice de clima). Cociente fototermal y precipitaciones refieren al período 30 días entorno a espigazón. (Ernst *et al.*, 2016).

La distancia entre las isólinas de rendimiento indican la respuesta a los años de agricultura en interacción con la oferta climática durante el período crítico de definición del rendimiento. Las menores distancias entre líneas bajo condiciones climáticas menos favorables indican que se incrementa la respuesta negativa. El efecto negativo sobre el rendimiento alcanzable de trigo se cuantificó en un promedio de 79 kg ha⁻¹ año⁻¹, acentuándose bajo condiciones climáticas equivalentes a primaveras con precipitaciones y temperaturas superiores a la media registrada 30 días en torno a espigazón (período crítico de definición del rendimiento) y durante el llenado de grano. Los mayores rendimientos se lograron cuando el trigo se sembró en chacras con 5 o menos años de agricultura pos pastura (promedio = 6,0 Mg ha⁻¹), siendo independiente de las

Respuesta a la pregunta 2. El efecto negativo de los años de agricultura sobre la frontera de rendimiento de trigo tiene dos componentes: i) durante los primeros 4-5 años pos pastura, se produciría una reducción gradual en el aporte de nutrientes del suelo, denominado brecha por nutrientes, que puede ser controlado incrementando la fertilización. Cuando AAC>5 años, se cuantificó una brecha de rendimiento, denominada brecha no directamente atribuible al menor aporte de nutrientes, que no fue posible controlar por aumento en la fertilización. En chacras con 10 años de agricultura, esta brecha llegó a ser el 40 % de la brecha total (definida como la suma de ambas, brecha por nutrientes más la brecha generada por otras propiedades, no vinculadas a directamente al aporte de nutrientes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto estimado de los años de agricultura continua post pastura sobre la reducción total del rendimiento de trigo (Brecha total); reducción explicada por déficit en el suministro de nutrientes (Brecha atribuible a nutrientes) y explicada por factores no directamente atribuibles al suministro de nutrientes (Brecha no atribuible a nutrientes (Ernst *et al.*, 2018).

Años de agricultura	Brecha total	Brecha atribuible a nutrientes	Brecha no atribuible a nutrientes
	Mg ha ⁻¹		%
1	1,5	100	0
5	2,0	94	6
10	2,6	60	40

En el cultivo cabeza de rotación la brecha de rendimiento explicada por suministro de nutrientes fue de 1500kg ha⁻¹. La misma resulta de seguir los actuales criterios de fertilización, los cuales se ajustan para capitalizar entorno al 80-90 % del rendimiento máximo. Si bien la fertilización nitrogenada se incrementó en promedio 5 kg ha⁻¹ por año de agricultura (no mostrado), no logró mantener el rendimiento. La pérdida cuantificada comparando el de rendimiento de trigo sembrado sobre rastrojo de soja de estación completa (de primera) con AAC=10 contra el trigo sembrado como cabeza de rotación (AAC=1) fue de 2600kg ha⁻¹, de los cuales sólo 1500kg ha⁻¹ pueden atribuirse al déficit de nutrientes. Sin tener como referencia el rendimiento de trigo logrado en los primeros años después de pastura, la brecha explicada por menor aporte de nutrientes

bajo agricultura continua (AAC=10) sería de 1500kg ha⁻¹, lo cual enmascara el efecto negativo anual que, acumulado en el periodo, sumó otros 1100 kg ha⁻¹. (rendimiento de trigo sembrado como cabeza de rotación sin limitantes de nutrientes contra el logrado luego de 10 años de agricultura, fertilizando siguiendo los actuales criterios para definir la cantidad a aplicar).

La primera etapa de degradación correspondería a menor aporte de nitrógeno del suelo, asociado a la reducción cuantificada en el potencial de mineralización de nitrógeno del suelo (PMN). En tanto, en la segunda etapa, cuando AAC>5, se sumarían efectos sobre condiciones físicas, cuantificada como una reducción significativa en la tasa de infiltración de agua en el suelo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Potencial de mineralización de nitrógeno del suelo (PMN) y tasa de infiltración de agua en función de los años de agricultura después de pastura.

Años de agricultura	PMN mg N-NH ₄ kg ⁻¹	Tasa de infiltración cm d ⁻¹
1 a 3 (n = 40)	30 a	35 a
4 a 6 (n = 20)	26 ab	30 a
7 a 10 (n = 20)	18 b	16 b



25 años rotando cultivos con y sin pasturas.

Cuadro 3. Efecto del sistemas de cultivos sobre la brecha total de rendimiento; brecha explicada por suministro de nitrógeno y por otros factores no directamente relacionados al suministro de nitrógeno.

Rotación	Brecha de rendimiento		
	Total	no	
		atribuible a nutrientes	atribuible a nutrientes
Mg ha ⁻¹	%		
Pastura-cultivo	2.5	96	4
Agricultura continua, doble cultivo con alta frecuencia de sorgo y maíz	3.0	100	0
Agricultura continua, doble cultivo con alta frecuencia de soja	3.1	67	33
Agricultura continua, barbecho/soja	3.4	59	41

Respuesta a la pregunta 3. En sistemas de agricultura continua sin labranza, sólo se logró el rendimiento alcanzable de trigo de la rotación cultivos-pastura combinando doble cultivo anual con alta frecuencia sorgo y maíz y corrigiendo las diferencias en suministro de nutrientes desde el suelo generadas por el sistema de cultivos (Cuadro 3).

El 100 % de la diferencia en el rendimiento entre estos dos sistemas (brecha total) correspondió a brecha generada por déficit de nitrógeno (brecha atribuible a nutrientes) lo cual, si bien implica mayores necesidades de fertilización nitrogenada, no se identificó otro factor limitante del rendimiento a nivel de suelo. En tanto, en los sistemas de cultivo que representan de mejor manera a los implementados a nivel productivo, alta frecuencia de soja con barbecho invernal o combinada en doble cultivo anual, entre el 30 y 40 % de la pérdida de rendimiento generada no pudo ser explicada por el suministro de nutrientes. La secuencia de cultivos dominante en la superficie agrícola de Uruguay varió a lo largo del período 2002-2013, pero estuvo mayoritariamente compuesta por doble cultivo trigo/soja (25 %), barbecho invernal/soja (45 %) y barbecho invernal/maíz (10 %). El restante 20 % lo compusieron un 7 % de superficie sembrada con praderas y otras combinaciones de cultivos (DIEA, 2014). Esto implica que en el 80 % de la superficie se habría afectado la capacidad de producir al mismo nivel que bajo el sistema dominante previo al 2002 (pastura-cultivos sin labranza). Esta brecha de rendimiento resulta de otros factores limitantes, no atribuible directamente a suministro diferencial de nutrientes, sino al efecto de otras propiedades del suelo, que pueden actuar directamente o modificando la eficiencia de uso de los nutrientes. Dentro de estas, se identificaron dos relacionadas a la dinámica del agua, actividad microbiana y el oxígeno en el suelo, como lo son tasa de infiltración del agua y la estabilidad de la estructura.

INTERPRETANDO EL PROCESO DE INTENSIFICACIÓN AGRÍCOLA

Por definición, el rendimiento potencial de un cultivo no es modificado por la calidad del suelo, sino por el cultivar sembrado y las condiciones de radiación y temperatura en el sitio. Pero bajo condiciones de secano y oferta de nutrientes limitada, como las de producción de trigo en Uruguay, las variaciones de rendimiento alcanzable resultan de cambios en la captura y uso del agua y de la oferta y eficiencia de uso de nutrientes, incluidos los agregados como fertilizantes. En tales condiciones, controlando los factores reductores del rendimiento, su variabilidad responde al efecto de factores limitantes a nivel del suelo.

Un sistema de cultivo aplicado en el mediano plazo (10 a 20 años) modifica las propiedades funcionales del suelo hasta niveles que comprometen su capacidad de producir. El sistema cambia el suelo. Nuestros resultados demuestran que el proceso de degradación del suelo en respuesta a su manejo en el mediano plazo tiene dos fases. La primera implica la necesidad de más insumos para mantener el rendimiento, pero sin necesidad de un cambio relevante en los criterios y estrategias de fertilización actuales. En tanto, la segunda impone una limitante en la eficiencia de uso de nutrientes de tal magnitud, que requeriría un cambio en la cantidad agregada como fertilizante, su fuente y su momento de aplicación.

Las propiedades de suelo podrían considerarse un insumo para la producción. En tal caso, partiendo de un suelo con su capacidad de uso original, la pérdida paulatina de sus propiedades se manifiesta en la reducción gradual, que se acumula anualmente. Manteniendo como objetivo el logro del

rendimiento alcanzable para el cultivar y condiciones de clima, se genera una brecha creciente entre el rendimiento alcanzable para la condición de inicio y el limitado por las propiedades funcionales perdidas (Figura 2).

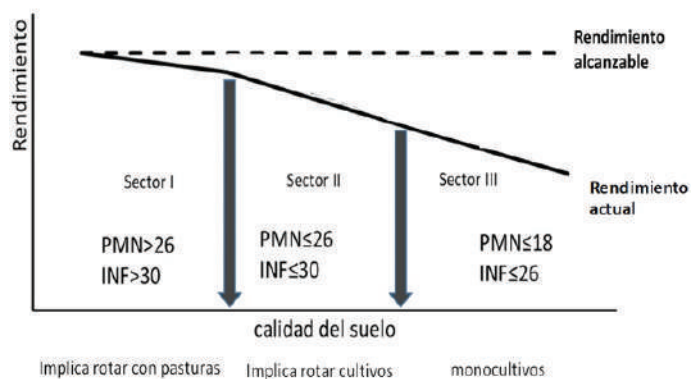


Figura 2. Diagrama que describe la relación entre la calidad del suelo afectada por la rotación de cultivos y manejo del suelo en el mediano plazo. La línea punteada superior indica el rendimiento objetivo o rendimiento alcanzable. La línea entera representa el rendimiento resultante con fertilización actual. (Ernst, 2018).

En los primeros 4 a 5 años pos pastura (Sector I), el rendimiento alcanzable lo definen la oferta de nitrógeno del suelo (estimada por el PMN), la condición física del suelo (estimada por la tasa de infiltración), más el aporte de fertilización nitrogenada definida con el sistema de diagnóstico y recomendación actual. Como los indicadores utilizados para definir la necesidad o no de fertilizar y la dosis son sensibles al sistema de manejo del suelo, determina un incremento en la cantidad media de fertilizante nitrogenado a agregar durante el ciclo del cultivo de 5 kg ha^{-1} . Si la fase agrícola dura hasta 5 años, el cultivo de trigo en el año 5 recibiría unos 20 kg ha^{-1} más de N que en el año 1, pero el rendimiento de grano sería el mismo. En este caso, el 100 % de la brecha se neutraliza aumentando la fertilización.

Cuando la fase agrícola se prolonga hasta los 6-7 años pos pastura (Sector II), las necesidades de fertilización nitrogenada continúan creciendo, elevándose en 30 kg ha^{-1} , pero el incremento en la dosis recomendada actualmente ya no permite alcanzar el mismo rendimiento. En esta fase, la falla radica en que el rendimiento alcanzable se sobreestima y la cantidad a agregar de nitrógeno se subestima. Por tanto, coincidiendo con Hoffman *et al.*, (2017), el problema radica en que la propuesta actual fue desarrollada en un escenario de producción en que el trigo rotaba con pasturas y no se ajusta a sistemas con fases agrícolas más largas.

En sistemas de agricultura continua que no logran mantener la calidad del suelo por encima de un valor crítico (Sector III), se generan restricciones al rendimiento que no son atribuibles directamente a nutrientes.

Por tanto, bajo agricultura continua existen dos escenarios diferentes: i) cuando se mantienen las propiedades físicas del suelo (INF, MWD) en un nivel superior a un valor crítico; ii) cuando estas propiedades caen por debajo de ese valor crítico. Para el primer caso, logrado con una rotación de cultivos diversificada, incluyendo alta frecuencia de sorgo y maíz, los requerimientos de fertilización nitrogenada para lograr el mismo rendimiento, crecen un 35 % y, con esta consideración, integraría también el Sector II del esquema. Para el segundo caso, se genera una brecha de rendimiento no atribuible al suministro de nutrientes de hasta 40 % de la brecha total (Sector III). Asumiendo que sería posible alcanzar el mismo rendimiento incrementando la fertilización con N, nuestra estimación sugiere que serían necesarios más de 300 kg ha^{-1} , y sólo bajo situaciones en que el rendimiento no es limitado por agua.



Doble cultivo anual con alta frecuencia de sorgo y maíz.

CONSIDERACIONES FINALES


Tradicionalmente, los mercados pagaron por el grano, no por cómo se produjeron. Bajo este escenario, el costo en degradación del suelo lo paga el productor a través del incremento en riesgo, pérdida gradual de rendimiento, y falta de diversificación. También se paga localmente como polución al reducirse la eficiencia de uso de fertilizante y posiblemente por incrementar las pérdidas. Pero esto está cambiando y es posible capitalizarlo, valorando la forma de producir.

Mientras que el camino de intensificación implementado en el pasado reciente, intenta “borrar” los problemas autogenerados incorporando un subsidio de energía (fertilizante nitrogenado fungicidas, herbicidas), existen sistemas alternativos diversificados, que reducen su dependencia (con pasturas) y aseguran mantener la capacidad de producir del suelo (diversidad de cultivos anuales, incluyendo maíz y sorgo). La magnitud y composición relativa de la brecha total son reflejo de servicios ecosistémicos afectados por el sistema de cultivo.

Los cambios determinantes de la intensificación observados en la región, partiendo desde la rotación con pasturas sin labranza a sistemas agrícolas simples, con predominancia de monocultivo de soja modificaron los servicios ecosistémicos que regulan y soportan el servicio priorizado y más valorado por el mercado, que es el rendimiento en grano. Cuantificar y valorar estos efectos a nivel productivo requiere de un análisis

comparativo entre sistemas de cultivo, que está limitado por la propia implementación del sistema de cultivos a nivel predial, de la zona y la región.

En general, estos conceptos ya fueron cuantificados por otros autores a nivel nacional (Díaz *et al.*, 2010). La novedad que emerge de este proyecto es que ciertos procesos de degradación operan también cuando los sistemas son sin labranza. Esto cuestiona los paradigmas utilizados para justificar el proceso de intensificación agrícola implementado en lo que va del siglo XXI. La racionalidad económica que justificó el reemplazo de la rotación pastura con cultivos con agricultura continua y con alta frecuencia de soja, no podría calificarse como intensificación sostenible.

La sostenibilidad requiere rediseñar el sistema de cultivos, intercalando pasturas y/o diversificando la secuencia de cultivos y su productividad. La primera opción tiene reconocida efectividad tanto para mantener la calidad del suelo y su productividad como para recuperar propiedades funcionales perdidas. La pregunta radica en qué tipo y duración serían necesarios para mantener la productividad actual y la capacidad de producir en el tiempo. En tanto la segunda, parece ser efectiva en controlar la pérdida de productividad, pero su capacidad de revertir el proceso de degradación ya operado es dudosa. Es imperativo primero evitar esta degradación y segundo desarrollar tecnologías para revertirla. 

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

Díaz R, Quincke A, Moron A, Sawchik J, Ibáñez W, Balzarín M. 2010. Efecto de la degradación del carbono orgánico del suelo en la productividad potencial de los cultivos. En: Taller Internacional Sociedad Uruguay Ciencia Suelo, Uruguay (SUCS) - International Soil Tillage Research Organization (ISTRO): Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos. [En línea] <http://destacados.inia.org.uy/images/pres/kg8wepumu35r67j5q6lp.pdf>. Disponible 30/8/2020.

DIEA. 2014. Dirección de Estadísticas Agropecuarias. . DIEA-MGAP. <http://www.mgap.gub.uy>. Disponible octubre 2020.

Ernst O, Dogliotti S, Cadenazzi M, Kemanian A. 2018. *Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield.* Field Crops Research 218: 180-187.

Ernst O, Kemanian A, Mazzilli S, Cadenazzi M, Dogliotti S. 2016. *Depressed attainable wheat yields under continuous annual no-till agriculture suggest declining soil productivity.* Field Crops Research 186: 107-116.

Ernst O, Siri-Prieto G. 2011. La agricultura en Uruguay: su trayectoria y Consecuencias. En: Ribeiro A, Silva H. [Eds.] III Simposio Nacional de Agricultura. No se llega si no se sabe a dónde ir. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur. 149-163.

Ernst O. (2018). Brecha de rendimiento de trigo: pérdida de calidad de suelo

como factor determinante. (Tesis de Doctorado en Ciencias Agrarias). Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.

Hoffman E, Perdomo C, Fassana C, Ernst O, Berger A. 2017. Mitos y realidad en el manejo del nitrógeno en los cereales de invierno en Uruguay. Cangüé 38: 23-29.

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

Mazzilli S, Kemanian A, Ernst O, Jackson R, Piñeiro G. 2015. *Priming of soil organic carbon decomposition induced by corn compared to soybean crops.* Soil Biology and Biochemistry 75: 273-281.

Morón A, Quincke A, Molino J, Ibáñez W, García A. 2012. *Soil quality assessment of uruguayan agricultural soils.* In: Ernst O., Pérez Bidegain M. Terra J., Barbazan M. Agrociencia Uruguay Special Issue 16: 135-143.

Pittelkow C, Linquist B, Lundy M, Liang X, vanGroenigen K, Lee J, van Gestel N, Six J, Venterea R, van Kessel Ch. 2015. *When does no-till yield more? A global meta-analysis.* Field Crops Research, 183: 153 - 168.

Sasal M, Andriulo A, Taboada M. 2006. *Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas.* Soil and Tillage Research 87: 9-18.

Sasal M, Boizard H, Andriulo A, Wilson M, Léonard J. 2017. *Platy structure development under no-tillage in the northern humid Pampas of Argentina and its impact on runoff.* Soil and Tillage Research 173: 33-41.