

La Agricultura en el Cono Sur, ¿Que sabemos, que debemos conocer? ¹

Fernando O. García

IPNI Cono Sur – Acassuso, Buenos Aires, Argentina

fgarcia@jpni.net

Introducción: El marco de referencia global

La creciente demanda global de alimentos, forrajes, fibras, biocombustibles y biomateriales se atribuye al sostenido crecimiento demográfico, la escasez de tierras agrícolas, y al fuerte crecimiento de los países emergentes (China e India, principalmente), con una creciente urbanización e incorporación de millones de personas a las clases medias (Adamoli, 2013). La ONU ha estimado una población superior a los 9 mil millones de habitantes para el 2050, siendo los países en vías de desarrollo los que contribuirán en mayor medida a ese aumento. Asimismo, se estima que el 70% de la población será urbana hacia 2050, comparada con aproximadamente un 50% en el 2010 (FAO, 2011; Buhaug y Urdal, 2013). Al crecimiento de la población de los países en vías de desarrollo y la creciente urbanización, se asocia un cambio en las dietas alimenticias con previsión de incrementos en el consumo de carnes, leche y derivados y aceites vegetales.

Entre 1961 y 2010, la población mundial se mas que duplicó pero el incremento de la producción global de alimentos fue aún superior, a pesar de una reducción del 50% en el área cultivable por persona, registrándose un aumento en la producción anual per cápita del 16% (Villela y Renis, 2013). A la mayor productividad de la tierra, se sumó una mayor productividad del trabajo que aumentó un 48% a nivel mundial para el mismo periodo, lo que Villela y Renis (2013) describen como conocimiento agregado por ha y hora, a través de las mejoras tecnológicas, organizacionales e institucionales. Los mismos autores indican que la mayor productividad ha resultado en menores precios para los consumidores. Sin embargo, los incrementos en producción y productividad han sido muy heterogéneos, y la distribución de alimentos y otros productos de la agricultura entre la población mundial sigue siendo limitante para muchas regiones y aún para áreas de un mismo país.

El crecimiento en producción y productividad registrado en los últimos 50 años ha generado costos y externalidades negativas a nivel económico, social y ambiental. El desafío para la humanidad es reducir el impacto de estos costos y externalidades y evitar que los mismos se amplifiquen y/o que se sumen nuevos a los ya existentes (Sutton et al., 2013). A este desafío se suma el cambio climático y su potencial impacto en la producción y en los recursos naturales, económicos y sociales (St.Clair y Lynch, 2010; Magrin, 2013; Wheeler y von Braun, 2013).

Se espera que regiones como África, Latinoamérica y el sudeste de Asia contribuyan significativamente a suplir las demandas a través de la expansión del área bajo cultivo y del aumento de la productividad. La expansión de la agricultura hacia áreas aún no explotadas a través de la deforestación e incorporación de ecosistemas más frágiles, constituye una amenaza a la sostenibilidad de los sistemas. El cambio de uso de las tierras constituye un aspecto principal en el manejo y conservación de los recursos naturales (agua, suelo y aire), con impactos económicos, ambientales y sociales. La alternativa es impulsar el crecimiento de la productividad en las tierras actualmente en uso y no exponer nuevas tierras a costos y externalidades tales como la

¹ En Hoffman E., A. Ribeiro y H. Silva (ed.). 2013. III Simposio Nacional de Agricultura. FAGRO (UdelaR). Paysandú, Uruguay. Pp. 3-19. ISBN 978-9974-0-0978-3.

degradación de los suelos debida a la erosión eólica e hídrica, la pérdida de fertilidad por extracción de nutrientes, la salinización, la desertificación, y la contaminación por uso inadecuado de insumos, entre otros.

En este escrito se discuten aspectos relacionados al manejo de suelos y cultivos, y del sistema de producción en general, en cuatro países del Cono Sur de Latinoamérica en cuanto a i) su compleja actualidad, el “¿Qué sabemos?”, y ii) algunos conceptos y líneas de trabajo que podrían contribuir a una agricultura sustentable, el “¿Que debemos conocer?”.

¿Qué sabemos?

El marco de referencia regional

Las crecientes demandas a nivel global han impulsado un fuerte aumento en la producción de granos en los países de América del Sur, especialmente en el Cono Sur (Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay). Entre 1991 y 2011, los cuatro países del Cono Sur aumentaron la producción de trigo, maíz y soja en aproximadamente 85%, 230% y 380%, respectivamente. El aumento de la producción de granos de los últimos 20 años se ha basado principalmente en una fuerte expansión del área sembrada, en especial de soja, a partir de la incorporación de nuevas tierras y del cambio del uso de las mismas con una drástica reducción de los periodos bajo pasturas; y, en menor medida, en el incremento en los rendimientos (**Figura 1**).

La **Tabla 1** muestra las tasas de variación en área, rendimiento y producción de trigo, maíz y soja para los cuatro países del Cono Sur en el período 1991-2011. La producción de trigo se incrementó a partir de aumentos en el rendimiento de Uruguay y Argentina y la expansión en área en Paraguay y Uruguay. En el caso de maíz, el crecimiento en producción se basó en incrementos en área de Argentina y Paraguay y, en menor medida, de Bolivia y en rendimiento de Argentina y Uruguay. Finalmente, la constante expansión en superficie explica el marcado incremento en la producción de soja, registrándose incrementos moderados en los rendimientos promedio de Argentina y, en menor medida, de Uruguay.

La mayor proporción del área sembrada de soja se observa comparando los cambios en la proporción del área bajo esta leguminosa con respecto a trigo y maíz. En el quinquenio 2007-2011, se sembraron 31.2 millones de ha de los tres cultivos en el Cono Sur, de las cuales 68%, 18% y 14% fueron sembradas con soja, trigo y maíz, respectivamente; mientras que en el quinquenio 1997-2001 se habían sembrado 20.3 millones de ha con 49%, 33% y 18% de soja, trigo y maíz, respectivamente.

Las tasas de incremento de rendimientos se pueden comparar con las determinadas recientemente por Ray et al. (2013) a nivel mundial. En el caso de trigo y maíz, los incrementos de los cuatro países son superiores a los estimados a nivel mundial. Los incrementos en trigo han sido de 23-69 kg/ha/año (**Tabla 1**) y el rango estimado a nivel mundial por Ray et al. (2013) es de 4-52 kg/ha/año. En maíz, el incremento para los cuatro países es de 51-160 kg/ha/año, y el rango estimado a nivel mundial es de 41-124 kg/ha/año. En el caso de soja, el incremento en los cuatro países varió de -24 a 31 kg/ha/año, mientras que el rango estimado mundial es de 6-50 kg/ha/año.

Si bien la región muestra incrementos de rendimientos de trigo y maíz elevados respecto a los estimados mundiales, los mismos no serían suficientes para satisfacer la demanda del 2050 que requiere que los mismos se dupliquen en los próximos 40 años. En el caso de soja, en especial en Bolivia, Paraguay y Uruguay, las tasas de aumento de rendimiento son bajas, por lo que sería un tema de interés regional determinar las limitantes para su crecimiento.

Las evaluaciones de tasas de incremento de rendimiento de los cultivos deben realizarse considerando los rendimientos actuales y los alcanzables para cada área ecológica homogénea dentro de cada país, es decir sabiendo que rendimiento se puede alcanzar dadas las condiciones de clima, potencial genético y, en el caso de agricultura de secano, agua (Van Ittersum y Rabbinge, 1997). La brecha de rendimiento entre los actuales y los alcanzables o potenciales ha sido definida y estudiada por varios autores (Lobell et al., 2009; van Ittersum et al., 2013). Poder definir el rendimiento alcanzable a nivel de productor para cada área ecológicamente homogénea y la brecha de rendimiento con respecto al logrado actualmente, contribuye a la evaluación cualitativa de las tasas de incremento actuales y las expectativas para el futuro.

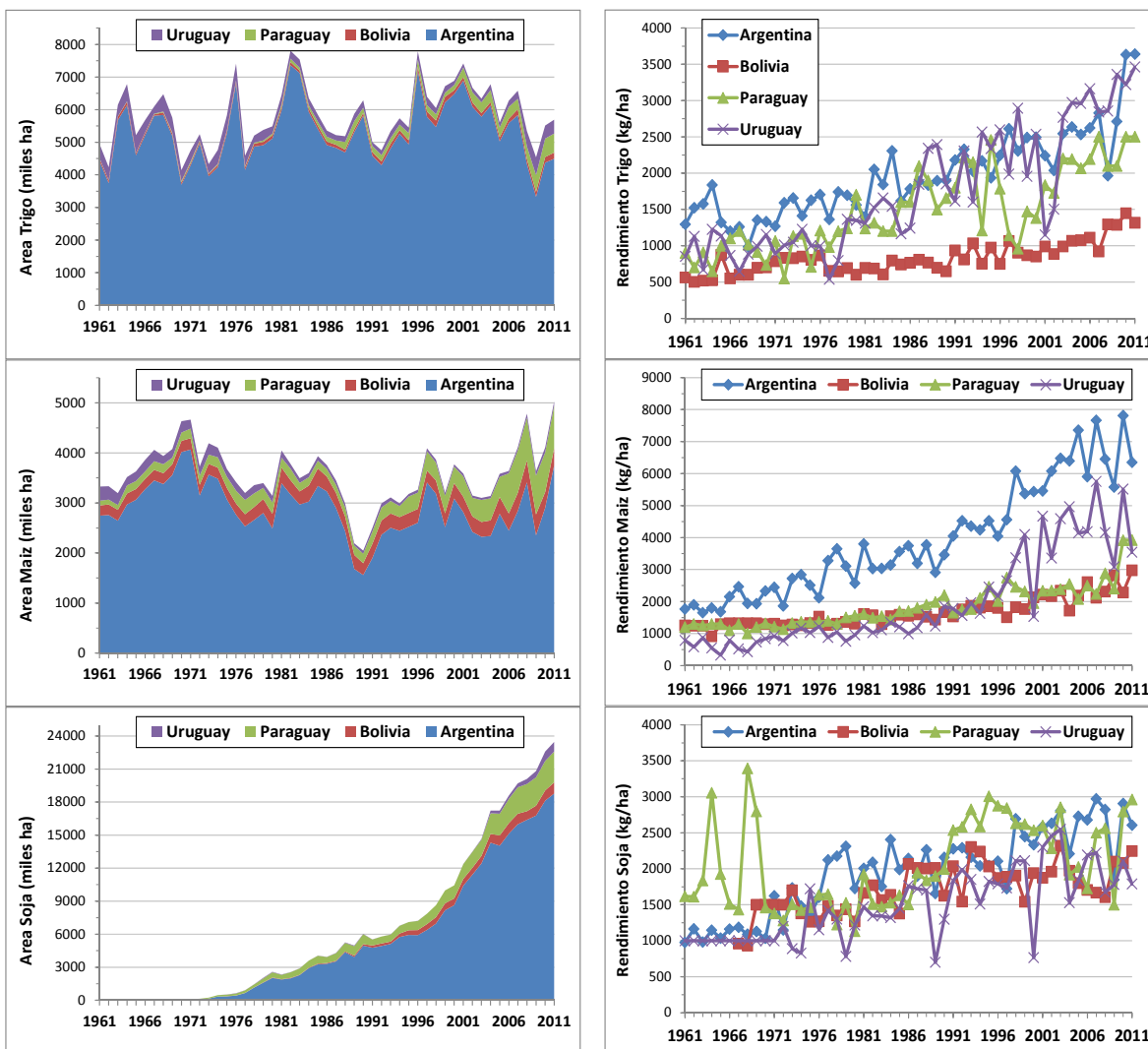


Figura 1. Área sembrada y rendimientos promedio de trigo, maíz y soja en los cuatro países del Cono Sur (Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay) en el periodo 1961-2011. Fuente: FAOSTAT (<http://faostat.fao.org/>).

Las brechas de rendimiento pueden ser estimadas por diferentes metodologías de determinación de rendimientos alcanzables: ensayos de campo, concursos de rendimientos, encuestas de máximos rendimientos, y modelos de simulación de cultivos a nivel local; o aproximaciones estadísticas empíricas y modelos de simulación a nivel global (van Ittersum et al., 2013). Cuando no se cuenta con información suficiente, se pueden utilizar alternativas más simples como, por ejemplo, funciones de línea límite basadas en la relación de los rendimientos con el agua disponible para el cultivo como la propuesta por Sadras y Angus (2006) para cereales. Esta función estima rendimientos alcanzables de trigo y maíz en función del abastecimiento de agua (agua en el suelo más precipitaciones y riego) en determinada localidad. Por ejemplo, para una disponibilidad de agua de 500 mm durante un ciclo de cultivo de maíz, el rendimiento alcanzable sería de 9680 kg/ha, y para 300 mm de agua disponible en el ciclo del trigo, el rendimiento alcanzable sería de 5280 kg/ha ($\text{Rendimiento} = 22 \text{ kg/ha/mm} * (\text{Agua disponible} - 60 \text{ mm})$).

Tabla 1. Tasas anuales de incremento en área, rendimiento y producción de trigo, maíz y soja en Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay. Periodo 1991-2011. Elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT (<http://faostat.fao.org/>).

Cultivo	Variable	Argentina	Bolivia	Paraguay	Uruguay
Trigo	Área (miles ha/año)	-30.5	2.0	18.5	12.5
	Rendimiento (kg/ha/año)	49	23	35	69
	Producción (miles t/año)	156.8	5.5	49.5	52.8
Maíz	Área (miles ha/año)	31.0	5.8	33.3	0.6
	Rendimiento (kg/ha/año)	157	51	67	160
	Producción (miles t/año)	594.3	28.7	120.2	13.0
Soja	Área (miles ha/año)	774.8	40.8	120.7	38.3
	Rendimiento (kg/ha/año)	31	-1	-24	9
	Producción (miles t/año)	2199	80.4	272.2	73.3

Causas y consecuencias del crecimiento de los cultivos de grano en el Cono Sur

Las consecuencias de la expansión y crecimiento de la producción de granos en el Cono Sur, presentan aspectos positivos y negativos (Viglizzo et al., 2011). Las consecuencias positivas incluyen los aumentos en producción con el consecuente beneficio económico y social para los productores y para la región, el desarrollo de industrias relacionadas y la mayor seguridad alimentaria, entre otras. Sin embargo, en muchas situaciones, la expansión del área de cultivo y el crecimiento de la producción ha generado costos y externalidades negativas en aspectos ambientales, económicos y sociales como se discutió en párrafos anteriores. Entre los costos y externalidades se pueden incluir: erosión hídrica y eólica, salinización de suelos, desertificación, caídas de la materia orgánica, pérdida de fertilidad de los suelos, pérdida de estructura y

compactación de suelos, contaminación difusa de aguas, suelos y aire, aparición de malezas resistentes, pérdidas de biodiversidad, reducción de efectividad y eficiencia de recursos e insumos, concentración de tierras y pérdidas de fuentes de empleo, entre otras. Muchos de estos costos y externalidades han contribuido a un estancamiento en los rendimientos de los cultivos en muchos agroecosistemas de la región.

Los beneficios, y los costos y externalidades se deben a causas que debemos reconocer y enfrentar de manera de generar sistemas de producción efectivos y eficientes que contribuyan a la seguridad alimentaria y a la provisión de fibras, biomateriales y biocombustibles a nivel regional y global, preservando y mejorando la condición de vida de comunidades rurales y urbanas y el estado de los recursos ambientales, en síntesis buscando el paradigma de sostenibilidad económica, social y ambiental.

Numerosas tecnologías de procesos y de insumos contribuyeron tanto al incremento de los rendimientos como a la expansión de cultivos de granos hacia tierras menos productivas en los últimos 20 años. Estas tecnologías se desarrollaron a partir del mayor conocimiento y se adaptaron rápidamente en la región: genética, mecanización, manejo de plagas, malezas y enfermedades, manejo del cultivo, siembra directa, fertilización, y manejo específico por sitio, entre otros.

Entre las causas de los costos y externalidades negativas, se pueden mencionar: expansión de la frontera agrícola hacia tierras y ecosistemas frágiles; sistemas de producción con baja eficiencia y efectividad en el uso de recursos e insumos, como por ejemplo los sistemas de monocultivo; una menor área bajo pasturas; balances de nutrientes negativos; falta de implementación de estructuras de conservación de suelos (terrazas, cultivos en franjas, etc.); alto precio de la tierra; subsidios e impuestos distorsivos a nivel regional e internacional; entre otras.

Este desarrollo de la agricultura en el Cono Sur se da en el contexto del proceso de cambio climático, el que puede resultar en consecuencias negativas para la agricultura a nivel económico, ambiental y social tales como mayor frecuencia de inundaciones y sequías, aumento de incendios forestales, pérdida de biodiversidad, aumento de enfermedades fúngicas y bacterianas, aparición de nuevas plagas de insectos en zonas más secas, acortamiento del ciclo de cultivos y disminución de la productividad en zonas cálidas y templadas cálidas; pero también en consecuencias positivas como el aumento de productividad en zonas templadas húmedas (St.Clair y Lynch, 2010; Magrin, 2013; Wheeler y von Braun, 2013). Estos impactos generan un escenario altamente variable para la producción agrícola y requieren del desarrollo de estrategias de adaptación en el manejo de suelos y cultivos y el agroecosistema en general. Por otra parte, la agricultura debe contribuir a la mitigación del cambio climático, por ejemplo reduciendo la deforestación y la emisión de gases efecto invernadero (GEI), o a través del secuestro de carbono (C) en los suelos. La agricultura contribuye en 10-12% del total mundial de las emisiones de GEI, incluyendo aproximadamente 50% y 60% de la emisión total de CH₄ y N₂O, dos gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento (Smith et al., 2007). Las emisiones de GEI pueden ser reducidas en términos absolutos y/o por unidad de producto mediante la implementación de mejores prácticas de manejo (Snyder et al., 2009; Burney et al, 2010).

A continuación se discuten brevemente algunas causas y sus consecuencias positivas o negativas, relacionadas al manejo de suelos y de cultivos, y a la producción de granos en el Cono Sur:

1. Alta adopción de siembra directa

La región del Cono Sur es la de mayor adopción de la siembra directa en sistemas de producción de granos, con 50%-90% del área cultivada según la zona. La siembra directa

permitió estabilizar y elevar los rendimientos en numerosas zonas de la región y también incorporar nuevas áreas de producción. Los sistemas de siembra directa presentan un menor impacto de la erosión y contribuyen a una mayor actividad biológica en los suelos y una mayor eficiencia en el uso del agua. Los estudios del efecto de la siembra directa sobre la acumulación de C orgánico del suelo presentan resultados contradictorios con situaciones de incremento del C y otras sin diferenciación entre sistemas con remoción y siembra directa. Mayor información sobre estos aspectos se puede consultar en Andriulo y Cordone (1998); Bayer et al. (2001); Díaz Zorita et al. (2002); Alvarez (2005); Amado et al. (2006); Andriulo et al. (2008); Trigo et al. (2009); Méndez y Buschiazzo (2010); y Quincke et al., (2010).

2. Falta de controles de procesos erosivos del suelo

A pesar de la incorporación masiva de la siembra directa, en numerosas zonas, la falta de implementación de prácticas y/o estructuras de control de la erosión, ha resultado en efectos sobre el suelo y la producción (Cisneros et al., 2012) (**Figura 2**). En la Pampa Ondulada argentina se determinaron tasas de erosión actual para suelos laboreados entre 12,6 y 57,4tn ha⁻¹ año⁻¹. En un trabajo reciente, Cordone y Martínez (2013) estimaron un costo variable según el grado de erosión y método de cálculo, de entre 260 y 350 U\$S ha⁻¹ erosionada año⁻¹ para el Departamento Caseros (centro-sur de la Provincia de Santa Fe).



Figura 2. Chacra de producción bajo siembra directa en la ruta 21 de Mercedes a Dolores (Uruguay), con signos de erosión hídrica.

3. Alta frecuencia de soja en la rotación y/o monocultura

Como se comentó previamente, los sistemas de producción de los cuatro países presentan una muy alta frecuencia de soja. Las condiciones de mercado (precio de granos e insumos, costo de la tierra) han llevado al predominio de soja, aún hasta sistemas de monocultura, en el Cono Sur. La falta de rotaciones resulta en bajo aporte de residuos y, por ende, de C al suelo, contribuye a los balances negativos de nutrientes, beneficia la infestación de malezas, plagas y enfermedades, induce procesos de compactación del suelo y reduce la capacidad de oferta de servicios ecosistémicos, en general (Andriulo y Cordone, 1998; Studdert y Echeverría, 2000; Bayer et al., 2010, Alvarez, 2013). Es importante destacar que la soja constituye un cultivo clave en los agroecosistemas de la

región dado su alto valor en aceite y proteína y, por ende, su valor económico, así como por su capacidad de fijar nitrógeno (N) por vía simbiótica y su rol como antecesor de otros cultivos. Por lo tanto, muy probablemente siga siendo el cultivo más importante en la región pero sin dudas que se beneficiará de la rotación con otros cultivos.

4. *Uso de genética líder*

En el Cono Sur se han incorporado masivamente variedades e híbridos de alta producción e incluso genes de resistencia a insectos y herbicidas que reducen costos de producción, facilitan las labores y reducen el impacto ambiental de plaguicidas (Villela y Renis, 2013).

5. *Manejo de los nutrientes*

La eficiencia de manejo de los nutrientes puede evaluarse a través de distintos índices. Las estrategias de manejo orientadas a optimizar el uso de fertilizantes deben evaluar varios de estos índices en forma simultánea para comprender el impacto de las mismas. Dos indicadores de eficiencia de uso de nutrientes muy útiles para el análisis a nivel regional son el balance parcial de nutrientes (BPN = Cantidad de nutriente removido/Cantidad de nutriente aplicado), y la productividad parcial del factor (PPF = Rendimiento/Dosis de nutriente).

Los balances de nutrientes para los cultivos varían entre países y dentro de los países a causa de diferencias en suelos, cultivos, prácticas de manejo, rendimientos y adopción de tecnología. En Argentina y Bolivia, y en algunos casos de Paraguay y Uruguay, se verifican valores de BPN superiores a 1 (Cano et al., 2006; García y González Sanjuan, 2013). Estas situaciones de extracción superior a la aplicación han resultado, por ejemplo, en caídas de los niveles de fósforo (P) extractable en una gran parte de la región productora de granos de Argentina (Sainz Rozas et al., 2012).

La mayor parte de la producción agrícola del Paraguay se realiza en la mitad este del país sobre suelos lateríticos, caracterizados por bajos niveles originales y una alta retención de P. Estas condiciones explican la alta relación aplicación/extracción para P estimada en 1.38. Sin embargo, las relaciones para N y potasio (K) son 0.19 y 0.49, respectivamente, mostrando una baja reposición del N y K al suelo.

En Uruguay, los balances de nutrientes muestran grandes variaciones debido a la alta variabilidad de suelos y condiciones de manejo. Cano et al. (2006) estimaron balances (aplicación-extracción) de P de entre -40.2 y 24.5 kg P ha⁻¹ para diferentes grupos de agricultores en el litoral oeste del país, dependiendo del tipo de rotaciones y del uso de fertilizantes

En general, dosis de nutrientes menores a las necesarias pueden generar altos valores de BPN y de PPF indicando situaciones de sobre-extracción de nutrientes de los suelos que resultan en pérdidas de fertilidad. Bajos valores de BPN y PPF pueden indicar que las dosis aplicadas son excesivas, lo que puede llevar a problemas de contaminación. En ambos extremos, se afecta seriamente la eficiencia de uso de nutrientes y efectividad del sistema.

La **Figura 3** muestra la evolución de las estimaciones de BPN y PPF para N y P de trigo, maíz y soja en Argentina para el periodo 1993-2012. Se puede observar que los valores de BPN de N y P en trigo y maíz se han aproximado a valores de 1 en los últimos años

indicando la reposición del N y P extraídos en grano. Los valores de PPF de N de maíz promedian 79 kg de maíz por kg de N aplicado, un nivel considerado adecuado según las referencias internacionales (Dobermann y Cassman, 2002). En el caso de soja, el BPN de P promedió un valor de 4.0 en las últimas campañas indicando que se extrae cuatro veces más P en grano que la cantidad que se repone vía fertilización. Esta observación de subfertilización fosfatada en soja se confirma al considerar el valor de PPF de P que, si bien se ha reducido a lo largo de los años, aún se ubica en valores altos (742 kg de soja por kg de P aplicado).

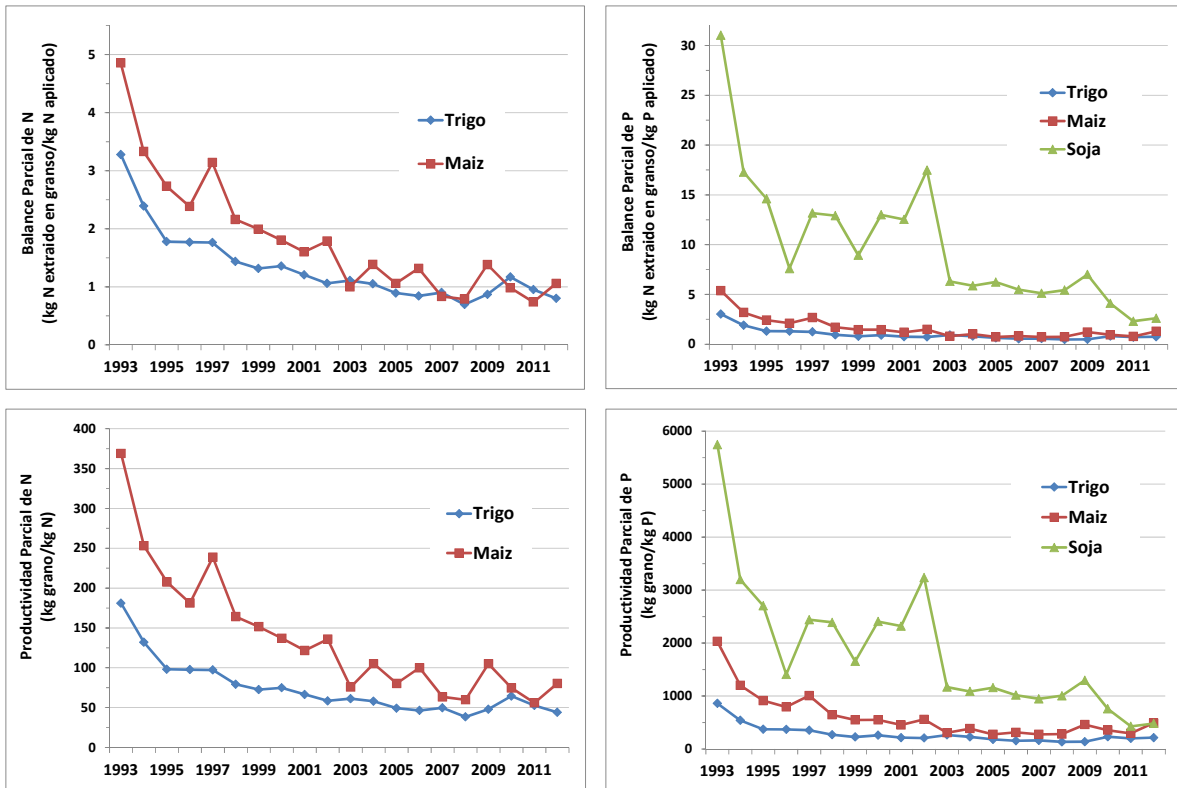


Figura 3. Evolución del balance parcial de N para trigo y maíz y de P para trigo, maíz y soja, y de la productividad parcial de N para trigo y maíz y de P para trigo, maíz y soja en Argentina desde 1993 a 2012. Elaboración propia en base a datos de MinAgri y Fertilizar AC.

¿Qué debemos conocer?

Una agricultura sustentable en lo económico, ambiental y social debería responder a los desafíos planteados previamente. Dicha agricultura sustentable requiere del uso adecuado de tierras (ordenamiento territorial), el mantenimiento y/o mejoramiento de los recursos suelo, agua y aire, la reducción de impactos ambientales negativos, y el desarrollo económico y social de las comunidades involucradas en el proceso productivo. El concepto de intensificación sustentable, o intensificación productiva sustentable, está alineado dentro del marco de agricultura sustentable con un foco en el incremento de la producción sin aumentar la superficie cultivada, para satisfacer las crecientes demandas globales con mínimo impacto ambiental y buscando el desarrollo social,

a través de distintos enfoques alternativos y/o complementarios (Matson et al., 1997; Cassman, 1999; Godfray et al, 2010; FAO, 2011; Tilman et al., 2011; Garnett et al., 2013).

La intensificación sustentable puede beneficiar a productores a todas las escalas, desde pequeños a grandes, y a toda la sociedad (FAO, 2011). Prácticas esenciales de sistemas ecológicamente intensificados son las rotaciones, la no remoción del suelo (siembra directa), las prácticas que eviten y/o reduzcan los procesos erosivos, la mayor ocupación del suelo, la nutrición balanceada, y el manejo integrado de plagas, malezas y enfermedades, entre otros. La implementación de estas prácticas y el desarrollo de nuevas respuestas a los dinámicos desafíos de los sistemas de producción, conlleva a la necesidad del conocimiento de los componentes del sistema, de su estado y de los procesos y mecanismos de funcionamiento en los cuales están involucrados (suelo, planta, rizósfera, interacción genotipo-ambiente). El mayor conocimiento de los sistemas, componentes y procesos, permite la integración de los mismos, responder a los desafíos, aprovechar las oportunidades, dar valor agregado a la producción, mejorar los procesos de reciclado, validar prácticas y certificar procesos.

A continuación se discuten brevemente algunos aspectos relacionadas al manejo de suelos y de cultivos y a la producción de granos en el Cono Sur, que deberíamos enfatizar y/o en los que hay que continuar los trabajos de investigación y/o extensión, para ser incluidos dentro de la intensificación ecológica para una agricultura sustentable:

1. Brechas de rendimiento

Dado que las posibilidades de expansión del área agrícola en el Cono Sur son escasas, la producción total de granos en esta región debería basarse en la búsqueda de rendimientos más altos para evitar la expansión de la agricultura a ecosistemas frágiles. Como se discutió en párrafos anteriores, el incremento de los rendimientos pasa por la reducción de las brechas entre rendimientos actuales y los alcanzables, considerando los alcanzables aquellos que pueden ser obtenidos en producción, usualmente del 75-85% del rendimiento potencial (Cassman, 1999; van Ittersum et al., 2013). Por ejemplo, Hall et al. (2013) determinaron una brecha de rendimiento de 0.37-1.18 t/ha para ocho zonas de producción de girasol en Argentina utilizando como referencia de rendimientos alcanzables los obtenidos en ensayos comparativos de rendimiento.

En numerosos casos para el Cono Sur, la reducción de brechas de rendimiento probablemente involucre la adopción de prácticas y tecnologías ya probadas por otros productores, incluyendo el uso de materiales genéticos de alto potencial, la fecha y densidad de siembra ajustadas a la variedad/híbrido y ambiente, una siembra adecuada, el control integrado de plagas, pestes y enfermedades, y la nutrición correcta. Existen numerosos ejemplos de incrementos de rendimiento por arriba de los obtenidos en una zona determinada cuando las prácticas y tecnologías ya probadas se adoptan simultáneamente, aprovechando los efectos interactivos y complementarios que existen entre los factores de producción.

No todas las prácticas de manejo (fungicida, densidad, cultivar, tratamiento de semilla, fertilización, etc.) aportan el mismo valor, y existen pocos trabajos en la región que permitan conocer cuánto aporta cada práctica en forma específica. Asimismo, resultados obtenidos en soja en la campaña 2012/13 por Rotundo y Borrás (2013), confirmarían la hipótesis de que el valor de una tecnología particular depende del rendimiento potencial esperado a través los factores definitorios del rendimiento.

A nivel regional deberíamos evaluar los rendimientos alcanzables y, a partir de ellos, las brechas con los rendimientos actuales para determinar las áreas de manejo de suelos y cultivos en las que debemos trabajar de manera de incrementar las tasas de ganancia de rendimiento de nuestros cultivos.

2. Rotaciones y cultivos de cobertura

Sin lugar a dudas, un punto central en cuanto a la agricultura y su intensificación sustentable es el manejo de rotaciones de cultivos y la intensificación del factor de ocupación, es decir más cultivos por año que permitan una mayor captura y eficiencia de uso de los recursos (Caviglia y Andrade, 2010). La alternancia de cultivos a través de rotaciones presenta numerosas ventajas productivas, económicas, ambientales y sociales (Studdert y Echeverría, 2000; Salado Navarro y Sinclair, 2009; Bayer et al., 2010; Quincke et al., 2010). Los planes de uso y manejo de suelos permiten disponer de herramientas regulatorias que consideren las rotaciones adecuadas de acuerdo a las características específicas del sitio para abordar aspectos como el control de la erosión u otros (Hill y Clerici, 2011).

De los cuatro países considerados, las zonas de producción de granos de Bolivia y Paraguay, con mayores temperaturas e incluso precipitaciones, disponen de un mayor número de especies para utilizar como cultivos de cobertura entre los cultivos de renta. En todos los casos, el manejo de rotaciones y cultivos de cobertura es un área del conocimiento e información que debe actualizarse de manera constante en toda la región.

3. Gestión del agua

En la agricultura, de secano y de riego, el agua es el principal limitante para la producción por lo que la eficiencia o productividad de la misma es un aspecto esencial para lograr sistemas sustentables (Frank y Viglizzo, 2012). El agua dulce es un recurso limitante a nivel mundial y la agricultura contribuye en un 92% de la huella hídrica global (Hoekstra y Mekonnen, 2012), por lo que su gestión eficiente y efectiva es decisiva para la intensificación sustentable.

Prácticas y condiciones tales como el aporte de variedades e híbridos más eficientes en el uso del agua y/o tolerancia a sequía, la adecuada fecha de siembra, la correcta nutrición, el control integrado de plagas, malezas y enfermedades, las rotaciones de cultivos, y el buen estado físico del suelo que permita una mayor infiltración y captación de agua por los cultivos, contribuyen a lograr altas eficiencias de uso del agua disponible (Sadras et al., 2011). Conocer, valorar y mejorar la eficiencia de uso de agua y la huella hídrica de nuestros sistemas de producción es una línea de trabajo prioritaria.

4. Nutrición correcta de suelos y cultivos

La adopción de mejores prácticas de manejo de nutrientes y fertilizantes siguiendo el Manejo Responsable de los 4Rs (los cuatro requisitos) puede generar mayores eficiencias de uso de los nutrientes disponibles y/o aplicados (IPNI, 2013). La adopción de la dosis correcta aplicada con la fuente correcta, en el momento correcto y la ubicación correcta permite maximizar la producción y la eficiencia de uso de otros recursos e insumos,

mantener y/o mejorar la fertilidad de los suelos y evitar problemas de contaminación de aguas, suelos y aire.

El Manejo Responsable de los 4Rs contribuirá a reducir las brechas de rendimiento en numerosas agroecosistemas del Cono Sur y tiene influencia directa en el mantenimiento y/o mejora de la fertilidad de los suelos. A modo de ejemplo, en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (CREA-IPNI-ASP), la fertilización balanceada con N, P y S en maíz ha resultado en rendimientos más estables con incrementos del orden del 53-241%, y beneficios adicionales de 401 a 870 U\$/ha. En la misma red experimental, la evaluación de propiedades químicas, físicas y biológicas luego de 12 años de experimentación ha mostrado que la fertilización NPS produjo incrementos en la concentración de materia orgánica a 0-20 cm y en la actividad y biomasa microbiana, y mejoras en la estabilidad de agregados y disminución de la densidad aparente en algunos sitios.

5. Potencial del mejoramiento y la biotecnología

La biotecnología, como herramienta del mejoramiento genético, ha permitido avances significativos con variedades e híbridos de mayor potencial de rendimiento, mayor estabilidad y la incorporación de resistencia a insectos y herbicidas que facilitan el control de plagas y malezas y reducen el uso de agroquímicos. Se esperan nuevos avances que podrían incorporar materiales con mayor tolerancia a sequía o mayor eficiencia en el uso del N. Asimismo, los desarrollos en microorganismos rizosféricos (PGPR) deberían proveer nuevas mejoras en el abastecimiento y captación de agua y nutrientes por las raíces y el crecimiento de los cultivos.

6. Expandir y optimizar el manejo específico por sitio

Los desarrollos y la implementación de la agricultura específica por sitio han avanzado notablemente en los últimos 15 años en los países del Cono Sur (Melchiori, 2010; Peralta et al., 2012; Terra y Sawchik, 2012). Este camino debería continuarse y multiplicarse para determinar el manejo eficiente y efectivo de recursos e insumos en cada sector del lote o chacra.

7. Integrar y monitorear el sistema de producción

Los sistemas de producción agrícolas incluyen una gran cantidad de componentes y procesos y las prácticas de manejo ejercen efectos múltiples, más allá del componente o proceso inmediato que se vea afectado. Existen abundantes ejemplos de efectos interactivos de prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso o productividad de recursos e insumos: fertilización azufrada incrementando eficiencia de uso de N (Salvagiotti et al., 2009); fertilización NPS contribuyendo a la eficiencia de uso de agua (Correndo et al., 2012); espaciamento entre hileras mejorando la eficiencia de uso de N (Barbieri et al., 2008); nutrición aportando a la tolerancia a enfermedades (Hubert y Graham, 1999).

Los sistemas deben ser evaluados a través de indicadores productivos pero también simultáneamente con indicadores socioeconómicos como la rentabilidad, la estabilidad de la producción, la eficiencia de uso de la energía, la productividad del trabajo, el ingreso del productor, la capacidad de proveer empleo y las condiciones de trabajo; e indicadores

ambientales como la calidad del agua y el aire, la biodiversidad, la provisión de otros servicios del ecosistema, la huella del C y del agua y la emisión de GEI.

Estos mismos y otros indicadores específicos, deben ser utilizados para el monitoreo de los sistemas de producción actuales y futuros. El trabajo de Viglizzo et al. (2011) constituye una excelente referencia para considerar nuevas determinaciones de huellas productivas, ambientales y sociales de los sistemas de producción aún a escalas de procesos y geográficas más detalladas.

8. Productos de calidad, mayor valor agregado, del campo a la góndola

La sociedad demanda de manera creciente productos de calidad superior, con trazabilidad, certificados desde el origen de la producción. Este es un desafío pero al mismo tiempo una oportunidad para el sector agrícola de proveer a un mayor valor agregado de sus productos. Valor agregado se obtiene a través de la industrialización de la producción *in situ* con los consecuentes beneficios económicos y sociales para las distintas regiones, de programas de certificación de procesos y de calidad, y/o a través de la integración de las cadenas productivas.

9. Contaminación de aguas, suelo y aire

La pérdida de nutrientes como N y P o de plaguicidas hacia cursos de agua superficiales o subsuperficiales, su acumulación en suelos, o las pérdidas hacia la atmósfera generan externalidades negativas que deben eliminarse o reducirse a un mínimo. Debemos conocer la situación actual de los tres recursos (aguas, suelo y aire) y cuantificar a nivel regional los procesos que generan estas externalidades. A partir de ese conocimiento, el uso de mejores prácticas de manejo (MPMs) de nutrientes y plaguicidas debe estar orientado tanto a los aspectos productivos como los ambientales y sociales. En los últimos años se han multiplicado los relevamientos e investigaciones en esta temática (Gómez et al., 2009; Portela et al., 2006 y 2009; Perdomo et al., 2009; Alvarez et al., 2012; Ciganda y Berger, 2012; Irisarri et al., 2012; Aparicio et al., 2013; Cosentino et al., 2013; Picone et al., 2013; Sasal et al., 2013), y se espera que las mismas se intensifiquen de manera de generar las MPMs correspondientes.

10. Reciclado

La concentración de animales en condiciones de producción (tambos/lecherías, engordes a corral, galpones de parrilleros, ponedoras y porcinos) resulta en una significativa producción de residuos orgánicos como efluentes, estiércol, cama de pollo y otros. Estos residuos tienen alto valor en nutrientes y deben ser acondicionados para evitar problemas ambientales y sanitarios, por lo que pueden considerarse como fuente de nutrientes para la misma explotación o explotaciones vecinas. El creciente número de estas explotaciones requiere del conocimiento e implementación de prácticas de manejo para su uso que deben considerar su valor en términos productivos y ambientales. Investigaciones de los últimos años y en curso actualmente en la región proveen al desarrollo de las MPMs de estas fuentes (Ciganda y La Manna, 2012; Wyngaard et al., 2012; Domingo et al., 2013).

11. Inversión en investigación y desarrollo (I+D)

La inversión en I+D ha crecido pero sigue siendo limitada en numerosas países de Latinoamérica. En el caso de Uruguay, es del 2% del Producto Bruto Interno, en Brasil es algo menor al 2% y otros cinco países se encuentran por arriba del promedio regional del 1% (CEPAL-FAO-IICA, 2011). Los expertos sugieren una cifra del 2% para países en desarrollo. Obviamente, las necesidades de respuesta a los numerosos desafíos requiere de inversión en I+D.

Nuestra investigación, y las instituciones que la generan, probablemente deba ser reestructurada con visiones más holísticas incluyendo a las comunidades y a la sociedad y no solamente los actores “agrícolas” del proceso de producción, con equipos multidisciplinarios interactivos abordando los problemas y desafíos del sistema integral y no de aspectos aislados (Jorgensen, 2012). Simultáneamente, deberían expandirse los sistemas de capacitación en todos los niveles.

12. Mirar a largo plazo

En la producción agrícola de la región, la dinámica de la demanda y las condiciones socio-económicas de la producción, generan frecuentemente situaciones de coyuntura que inducen a una visión cortoplacista del sistema. Si bien es difícil escapar a estas situaciones, las prácticas de manejo y las acciones presentan efectos residuales de importancia en componentes y procesos directamente e indirectamente involucrados con una práctica determinada. Un ejemplo claro, comentado en párrafos anteriores, es el de rotaciones de cultivos que aportan mayor cantidad de residuos y en el mediano o largo plazo pueden generar acumulaciones mayores de C. Estos efectos residuales o a mediano/largo plazo, pueden ser positivos o negativos sobre los procesos y componentes del sistema o sobre la eficiencia de uso de los mismos. Así, las MPM de la fertilización pueden mejorar y/o mantener la fertilidad del suelo y lograr alta eficiencia de uso de nutrientes, no sólo para el cultivo que se fertilice, sino también para los cultivos subsiguientes (Salvagiotti et al., 2004; García et al., 2010).

Sería recomendable que las investigaciones sobre el uso y manejo de recursos e insumos enfocara su evaluación tanto en objetivos de corto como de largo plazo, de manera de aumentar el conocimiento del funcionamiento del sistema y predecir desafíos y amenazas a mediano y largo plazo.

Comentarios finales

La región del Cono Sur presenta condiciones agro-ecológicas inmejorables para el desarrollo de una agricultura sustentable, cuenta con recursos naturales y humanos de gran valor y enfrenta desafíos y oportunidades como los discutidos en este escrito y en muchos otros aspectos no presentados (logística por ejemplo).

La agricultura sustentable requiere de la participación de toda la sociedad: productores, asesores, investigadores, instituciones oficiales, empresas, ONGs, consumidores, estados, etc.. No podemos ser dogmáticos, debemos prepararnos para responder a la dinámica de las demandas de la sociedad, las oportunidades del mercado y los desafíos del cambio climático, conociendo los procesos y mecanismos que gobiernan a los sistemas de producción en todas las escalas para dar respuesta a esa dinámica. Hablar con y escuchar a la sociedad/comunidad,

comunicarse, educar y educarnos, es un proceso largo pero que nos brindara muchos frutos y del cual hay excelentes ejemplos en la región. Estas demandas requieren de conocimientos y equipos interdisciplinarios, y de inversión social y económica en el desarrollo de esos conocimientos y equipos.

Referencias

- Adámoli J. 2013. Producción y ambiente: Desafíos y oportunidades. Actas CD Simposio Fertilidad 2013. Rosario, Santa Fe. IPNI-Fertilizar AC.
- Alvarez R. 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use & Management* 21:38-52.
- Alvarez C. 2013. Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: Caracterización, génesis y manejo. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 10:2-9. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Alvarez C., A. Costantini, C. R. Alvarez, B. Alves, C. Jantalia, E. Martelotto y S. Urquiaga. 2012. Soil nitrous oxide emissions under different management practices in the semiarid region of the Argentinian Pampas. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 25:1-12, doi:10.1007/s10705-012-9534-9
- Amado, T.J.C., C. Bayer, P.C. Conceicao, E. Spagnollo, B.C. Campos, y M. Veiga. 2006. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. *J. Environ. Qual.* 35: 1599–1607.
- Andriulo A. y G. Cordone. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la material orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. *In Siembra directa*. J. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzo and R. Gil (Eds.). Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp.65-96.
- Andriulo A., M.C. Sasal, A. Irizar, S. Restovich y F. Rimatori. 2008. Efecto de diferentes sistemas de labranza, secuencias de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos. *En J. Galantini (ed.). Estudios de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. pp. 117-129. EdiUNS. Bahía Blanca, Argentina.
- Aparicio, V.C., E. De Gerónimo, D. Marino, J. Primost, P. Carriquiriborde y J. L. Costa. 2013. Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. *Chemosphere*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.041>.
- Barbieri P., H. E. Echeverría, H. R. Saíenz Rozas, y F. H. Andrade. 2008. Nitrogen Use Efficiency in Maize as Affected by Nitrogen Availability and Row Spacing. *Agron. J.* 100:1094–1100.
- Bayer C., L. Martin-Neto, J. Mielniczuk, C. Pillon y L. Sangoi. 2001. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1473-1478.
- Bayer C., J. Dieckow y P.C. F. Carvalho. 2010. Uma síntese da pesquisa em sequestro de carbono e mitigação de Gases de efeito estufa em sistemas de produção agropecuária no sul do Brasil. *Actas CD Taller SUCS-ISTRO*. Colonia (Uruguay). 12-14 de Julio de 2010.
- Buhaus H. y H. Urdal, 2013. An urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities, *Global Environmental Change*, 23 (1): 1-10.
- Burney J.A., S. J. Davis, y D. B. Lobell. 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *PNAS* 107 (26): 12052-12057.
- Cano J., O. Ernst, y F. García. 2006. Balance aparente de fósforo en rotaciones agrícolas del litoral oeste del Uruguay. *Informaciones Agronómicas* 32:8-11. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Cassman, K.G., 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 96, 5952–5959.
- Caviglia O.P. y F.H. Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the argentinean pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *The Americas J. Plant Sci. Biotech.* 3, 1-8.
- CEAPAL-FAO-IICA. 2011. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2011-2012, IICA. San José, Costa Rica. www.iica.int.
- Ciganda V. y L. Berger. 2012. Nitrous Oxide Emissions from Grazing Systems in Uruguay. 19th International Soil & Tillage Research Organization (ISTRO) Conference. Montevideo, Uruguay.

- Ciganda V. y A. F. La Manna. 2012. Estudio sobre el Potencial de Contaminación de los Sistemas Intensivos de Engorde Bovino a Corral sobre los Recursos Suelo y Agua en el Uruguay. 1er. Congreso de la Sociedad Uruguaya de la Ciencia del Suelo. SUCS. Montevideo, Uruguay.
- Cisneros, J et al. 2012. Erosión Hídrica. Principios y técnicas de manejo. Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UniRio Editora. ISBN 978-987-688-024-4.
- Cordone G. y F. F. Martínez. 2013. Estimación del costo de la erosión hídrica en el centro sur de la Provincia de Santa Fe. Actas CD Jornadas de Conservación de Suelos AACCS-INTA. Buenos Aires, Julio 2013.
- Correndo A. A., M. Boxler y F. O. García. 2012. Oferta hídrica y respuesta a la fertilización en maíz, trigo y soja en el norte de la región pampeana argentina. Actas CD XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo- XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de Abril de 2012. AACCS-SLCS.
- Cosentino, V. R. N., Fernandez P.L., Figueiro Aureggi S.A. and Taboada, M. A. 2013. N₂O emissions from a cultivated mollisol: optimal time of day for sampling and the role of soil temperature. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36:1814-1819.
- Díaz Zorita M., G. Duarte y J. Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. Soil Till. Res. 65:1-18.
- Dobermann A. y K.G. Cassman. 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. Plant Soil 247: 153-175.
- Domingo M.N; Picone, L. I; Videla, C. C y Maceira N. 2013. Volatilización de amoníaco y emisiones de dióxido de carbono a partir de un sistema intensivo de producción de carne. Cienc. Suelo. 31 (1): 107-118.
- FAO. 2011. Ahorrar para crecer. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenibles de la producción agrícola en pequeña escala. FAO. Roma. 102 pp.
- FAOSTAT. 2013. <http://faostat.fao.org/>. Verificado 2 Agosto 2013.
- Frank F. C. y E.F. Viglizzo. 2012. Water use in rain-fed farming at different scales in the Pampas of Argentina. Agricultural Systems 109: 35–42.
- García F.; M. Boxler; J. Minteguiaga; R. Pozzi; L. Firpo; I. Ciampitti; A. Correndo; F. Bauschen; A. Berardo y N. Reussi Calvo. 2010. La Red de Nutrición de la Región Crea Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009. 2a. ed. AACREA. Buenos Aires, Argentina. 64 pag.
- García F. y M. F. González Sanjuan. 2013. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos? Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. 9:2-7. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Garnett T. et al. 2013. Sustainable intensification in Agriculture: Premises and policies. Science 341:33-34.
- Godfray C., J. R. Beddington, I. R. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J. F. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S. M. Thomas, C. Toulmin. 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. Science 327: 812-818.
- Gómez E., L. Ferreras, L. Lovotti, E. Fernandez. 2009. Impact of glyphosate application on microbial biomass and metabolic activity in a Vertic Argiudoll from Argentina. European Journal of Soil Biology, 45 (2): 163-167.
- Hall A.J., C. Feoli, J. Ingaramo y M. Balzarini. 2013. Gaps between farmer and attainable yields across rainfed sunflower growing regions of Argentina. Field Crops Research 143 (1): 119–129.
- Hill M. y C. Clerici. 2011. Planes de uso y manejo del suelo. Revista INIA 26: 48-52. INIA, Uruguay.
- Hoekstra A. y M.. Mekonnen. 2012. The water footprint of humanity. PNAS 109 (9): 3232-3237.
- Huber D.M. y R.D. Graham. 1999. The role of nutrition in crop resistance and tolerance to disease. In: Rengel Z. (Ed.), Mineral Nutrition of Crops Fundamental Mechanisms and Implications. Food Product Press, New York, pp. 205–226.
- IPNI. 2013. 4R de la nutrición de plantas : un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. T. W. Bruulsema; Paul E. Fixen; y Gavin D. Sulewski (ed.). Traducción al español. IPNI. Acassuso, Buenos Argentina. ISBN 978-987-24977-5-0.
- Irisarri P., Pereyra V., Fernández A., Terra J. y Tarlera S. 2012. Emisiones de CH₄ y N₂O en un arrozal: primeras medidas en el sistema productivo uruguayo. Agrociencia Uruguay, 16 2:1-10.

- Jorgensen RA. 2012. A vision for 21st century agricultural research. *Front. Plant Sci.* 3:157. doi: 10.3389/fpls.2012.00157.
- Lobell, D.B., Cassman, K.G., Field, C.B. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Ann. Rev. Environ. Resour.* 34, 179–204.
- Magrin G. 2013. Impactos del cambio climático en América Latina: Vulnerabilidad y Adaptación. Actas CD Jornadas de Conservación de Suelos AACs-INTA. Buenos Aires, Julio 2013.
- Matson P. A., W. J. Parton, A. G. Power, y M. J. Swift. 1997. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science* 277:504-509.
- Melchiori R.J.M. 2010. Advances in the Use of Remote Sensors in Argentinean Agriculture. *Better Crops Vol 94.* (3). 21-23.
- Méndez M. y D. Buschiazzo. 2010. Wind erosion risk in agricultural soils under different tillage systems in the semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 106: 311–316.
- Peralta N.R., J. L. Costa y F. M. Castro. 2012. Interpretación de la conductividad eléctrica aparente para la delimitación de zonas de manejo en el sudeste bonaerense. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica.* 6:15-19. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Perdomo C., P. Irisarri y O. Ernst. 2009. Nitrous oxide emissions from and Uruguayan Argiudoll under different tillage and rotation treatments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 84: 119-128.
- Picone L., C. Videla, C. Bayer, R. Rizzalli y F. García. 2013. Emisiones de óxido nitroso y dióxido de carbono en maíz bajo sistemas de producción con distinta intensificación. Actas CD Simposio Fertilidad 2013. Rosario, Santa Fe. IPNI-Fertilizar AC.
- Portela S.I., A.E. Andriulo, E.G. Jobbágy y M.C. Sasal. 2009. Water and nitrate exchange between cultivated ecosystems and groundwater in the Rolling Pampas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134:277-286. DOI: 10.1016/j.agee.2009.08.001.
- Portela S.I., A.E. Andriulo, M.C. Sasal, B. Mary y E.G. Jobbágy. 2006. Fertilizer vs. organic matter contributions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas: 15N application in field lysimetres. *Plant and Soil*, 289:265-277. DOI: 10.1007/s11104-006-9134-z.
- Quincke, A., J. Sawchik, y A. Morón. 2010. Siembra directa y rotación con pasturas: Efectos sobre carbono orgánico, nitrógeno total y potencial de mineralización de nitrógeno en un suelo agrícola del sudoeste de Uruguay. Actas CD Taller SUCS-ISTRO. Colonia (Uruguay). 12-14 de Julio de 2010.
- Ray DK, Mueller ND, West PC, Foley JA. 2013. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PLoS ONE* 8(6): e66428. doi:10.1371/journal.pone.0066428
- Rotundo J. y L. Borrás. 2013. ¿Cómo podemos aumentar los rendimientos de soja? La visión ecofisiológica. Actas CD Simposio Fertilidad 2013. Rosario, Santa Fe. IPNI-Fertilizar AC.
- Sadras, V.O., Angus, J.F., 2006. Benchmarking water-use efficiency of rainfed wheat in dry environments. *Austr. J. Agric. Res.* 57, 847–856.
- Sadras V., P. Grassini y P. Steduto. 2011. Status of water use efficiency of main crops. SOLAW Background Thematic Report - TR07. SOLAW TR07. FAO. <http://www.fao.org/nr/solaw/thematic-reports/en/>.
- Sainz Rozas, H., Echeverría, H., Angelini, H. 2012. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias* 38 33-39. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86423614007>.
- Salado-Navarro L. y T. R. Sinclair. 2009. Crop rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models. *Agricultural Systems* 102: 11–16.
- Salvagiotti, F., Castellarin, J.M., Miralles, D.J., Pedrol, H.M., 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research* 113, 170-177.
- Salvagiotti F., G. Gerster, S. Bacigaluppo, J. Castellarín, C. Galarza, N. González, V. Gudelj, O. Novello, H. Pedrol, y P. Vallote. 2004. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Ciencia del Suelo* 22(2):92-101.
- Sasal C., M. G. Wilson, A. E. Andriulo, J. D. Oszust y E. Gabioud. 2013. Estudios del impacto de la agricultura sobre la calidad del agua. Actas CD Simposio Fertilidad 2013. Rosario, Santa Fe. IPNI-Fertilizar AC.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, 2007: Agriculture. *In* *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*

- Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Snyder C.S., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen y P.E. Fixen. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, 133: 247–266.
- St.Clair S. y J. P. Lynch. 2010. The opening of Pandora's Box: climate change impacts on soil fertility and crop nutrition in developing countries. *Plant Soil*, 335:101–115.
- Studdert G., y H. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Sutton M.A., Bleeker A., Howard C.M., Bekunda M., Grizzetti B., de Vries W., van Grinsven H.J.M., Abrol Y.P., Adhya T.K., Billen G., Davidson E.A, Datta A., Diaz R., Erisman J.W., Liu X.J., Oenema O., Palm C., Raghuram N., Reis S., Scholz R.W., Sims T., Westhoek H. & Zhang F.S. (2013) Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution. Global Overview of Nutrient Management. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative. Disponible en www.unep.org, www.gpa.unep.org/gpnm.html, www.initrogen.org, www.scopenvironment.org, y www.igbp.net/publications.
- Terra J. y J. Sawchik. 2012. Consideraciones sobre posibilidades de manejo sitio específico de P y K en sistemas agrícolas de Uruguay. Actas CD XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo- XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de Abril de 2012. AACCS-SLCS.
- Tilman D., C. Balzer, J. Hill, y B. L. Befort. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS* 108, 50:20260–20264.
- Trigo E., E. Cap, V. Malach y F. Villarreal . 2009 The Case of Zero-Tillage Technology in Argentina. IFPRI Discussion Paper 00915. Millions Fed: Proven Successes in Agricultural Development. www.ifpri.org/millionsfed.
- van Ittersum, M.K., Rabbinge, R., 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Res.* 52, 197–208.
- van Ittersum M. K., K. G. Cassman, P. Grassini, J. Wolf, P. Tittonell, Z. Hochman. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. *Field Crops Res.* 143:4-17.
- Viglizzo, E.F., Frank, F.C., Carreño, L.V., Jobbágy, E.G., Pereyra, H., Clatt, J., Pincén, D., Ricard, F.M. 2011. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology* 17: 959–973.
- Vilella F. y S. Renis. 2013. La demanda actual y proyectada de alimentos: El rol del sector agropecuario y sus desafíos. *En* M. Díaz Zorita, O. Correa, M. V. Fernández Caniggia y R. Lavado (ed.). Tercera Jornada del INBA: Aportes de la microbiología a la producción de cultivos. Ed. FAUBA. Buenos Aires. Pp. 1-9.
- Wheeler T. y J. von Braun. 2013. Climate changes impacts on global food security. *Science*, 342:508-513.
- Wyngaard, N; C Videla; L Picone; E Zamuner & N Maceira. 2012. Nitrogen dynamics in a feedlot soil. *J. Soil Sci. & Plant Nutr.* 12(3): 563-574.