



## “Latinoamérica unida protegiendo sus suelos”

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  
contribuciones@congresodesuelos.org.ar

# PRODUCTIVIDAD Y EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA Y NITRÓGENO EN SISTEMAS INTENSIFICADOS

Caviglia, O.P.<sup>1\*</sup>, Rizzalli, R.H.<sup>2</sup>, Van Opstal, N.V.<sup>1</sup>, Barbieri, P.<sup>2</sup>, Melchiori, R.J.<sup>1</sup>, Cerrudo, A.<sup>2</sup>, Gregorutti, V.C.<sup>1</sup>, Monzon, J.P.<sup>2</sup>, Barbagelata, P.A.<sup>1</sup>, Martinez, J.J.<sup>2</sup>, Garcia, F.<sup>3</sup>, Andrade, F.H.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INTA EEA Paraná – Argentina

<sup>2</sup>Unidad Integrada Balcarce INTA FCA-UNMDP – Argentina

<sup>3</sup>IPNI

\* Autor de contacto: [ocaviglia@parana.inta.gov.ar](mailto:ocaviglia@parana.inta.gov.ar), Ruta 11, km 12.5 (3100) Paraná - Argentina; 54-343-4975200

## RESUMEN

Como respuesta a una iniciativa del Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI) se iniciaron en el año 2009 dos experimentos de largo plazo en Balcarce y Paraná con el objetivo de comparar el manejo actual de los productores (MAP) con sistemas intensificados de manejo de suelos y cultivos (MIS) en el largo plazo. La evaluación de los sistemas está basada en la productividad de los recursos y en indicadores de impacto ambiental en una secuencia trigo/soja-maíz. El MIS se basa en conocimientos previos y tiene como objetivo mejorar la eficiencia del sistema, incrementar los rendimientos y la sustentabilidad en el largo plazo. El MAP se realiza de acuerdo al nivel promedio de manejo del productor de cada zona, basado en la opinión de asesores expertos. El mayor efecto de los tratamientos se evidenció en el cultivo de maíz. El MIS mejoró el rendimiento total en granos del sistema y el retorno de residuos de cosecha al suelo en comparación con el MAP. La productividad del agua (PA), estimada como la cantidad total de granos producida por unidad de agua de lluvia precipitada, fue mejorada por el MIS en comparación con el MAP, principalmente por incrementos importantes en la eficiencia en el uso del agua. En el MIS se incrementó la eficiencia fisiológica de uso del N y el balance aparente de N y se redujo la productividad parcial del N en comparación con el MAP.

**PALABRAS CLAVE** (Hasta tres (separadas por punto y coma (;))

intensificación sustentabilidad rotación

## INTRODUCCIÓN

La creciente población mundial y los cambios en sus ingresos y hábitos alimenticios demandarán en el corto plazo importantes aumentos en la producción de granos y otros productos agrícolas. Gran parte de las demandas mundiales deberán satisfacerse con la producción agrícola de Sudamérica (OECD-FAO, 2009). Este desafío debe ser logrado preservando los recursos naturales y la calidad de vida de la población rural y urbana (Lobell *et al.*, 2009).

Los actuales sistemas agrícolas de varios países de Sudamérica están fuertemente basados en cultivos estivales, principalmente soja, realizados como únicos cultivos en el año y manejados con prácticas agronómicas orientadas a lograr la mayor rentabilidad posible sin considerar el impacto sobre el deterioro potencial de los recursos naturales involucrados, especialmente el suelo, y el impacto sobre otros ecosistemas (Caviglia & Andrade, 2010).

La utilización de prácticas mejoradas de producción que combinan todo el conocimiento agronómico disponible orientado a incrementar la producción de un cultivo individual con un mínimo impacto ambiental ha sido definida como intensificación ecológica (Cassman, 1999).

Por otra parte, la intensificación sustentable de la secuencia de cultivos (Caviglia & Andrade, 2010), a través del incremento de la cantidad de cultivos por unidad de tiempo, ha sido propuesta como una alternativa que permite incrementar la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos del ambiente, principalmente agua y radiación solar.

Ambos conceptos se complementan en la necesidad de una mayor producción y un mínimo impacto ambiental. El desafío de mayores rendimientos de los sistemas de producción requiere de la mayor eficiencia productiva de los recursos nitrógeno (N), agua y tierra, con el menor impacto posible sobre los recursos naturales suelo, atmósfera y aguas superficiales y subsuperficiales (Lobell, 2007).

Como respuesta a una iniciativa del Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI) (<http://www.globalmaize.com/Home/>) se iniciaron en el año 2009 dos experimentos de largo plazo en Balcarce y Paraná con el objetivo de comparar en el largo plazo el manejo actual de los productores con sistemas intensificados de manejo de suelos y cultivos. La evaluación de los sistemas está basada en la productividad de los recursos y en indicadores de impacto ambiental.

En este trabajo se presentan indicadores de productividad y eficiencia de uso del agua y del N obtenidos en los primeros dos años de los experimentos de Balcarce y Paraná.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento contempla la realización de una secuencia fija de 3 cultivos en 2 años: trigo/soja – maíz en las EEA INTA Paraná y Balcarce. Se presentan los resultados correspondientes a las campañas 2009/10 y 2010/11, para las dos fases de la rotación en cada año. El diseño experimental incluye la evaluación del factor de manejo agronómico, que tiene dos niveles que se diferencian en la base de la toma de decisiones de manejo de cada cultivo:

1. Manejo actual del productor medio de la zona (MAP)
2. Manejo intensificado sustentable (MIS)

En el MIS, las decisiones se toman en base a conocimientos previos y tendientes a mejorar la eficiencia del sistema, incrementar los rendimientos y la sustentabilidad en el largo plazo. En el MAP se utiliza el nivel promedio de manejo del productor de la zona, basado en la opinión de asesores expertos.

Los factores de manejo aplicado en cada tratamiento (MAP y MIS) fueron diferentes en Paraná y Balcarce (Tabla 1).

En el año 2009 se desfasó la fecha de siembra de maíz en el tratamiento MAP, tanto en Paraná como en Balcarce.

Las diferencias entre niveles de manejo en soja en Paraná estuvieron sólo en la elección del genotipo (adaptado a la fecha de siembra vs cultivar de grupo de madurez más difundido). En Balcarce no se diferenciaron los manejos para soja.

Tabla 1. Principales diferencias entre los tratamientos de manejo actual del productor medio de la zona (MAP) y manejo intensificado sustentable (MIS) en Paraná y Balcarce

		Factor de manejo	MIS	MAP
<b>Balcarce</b>	<b>Trigo</b>	Cultivar	Alto potencial (cv. tipo Baguette) 400	Alta calidad (cv. tradicional) 360
		Densidad (sem m <sup>-2</sup> ) Fósforo (FDA en línea a la siembra) Fungicida e Insecticida	Reposición	30% < que reposición
		Nitrógeno (Urea en macollaje, dosis según análisis de suelo y rendimiento objetivo)	Si, de acuerdo a monitoreo	No
	<b>Maíz</b>	Cultivar	Alto potencial y estabilidad, RR, Bt	RR
		Densidad (sem m <sup>-2</sup> ) Dist. e/ Hileras (m)	8 0,525	6,5 0,7
		Fósforo (FDA en línea a la siembra) Nitrógeno (Dosis según análisis de suelo y rendimiento objetivo)	Reposición UAN en V6	30% < que reposición Urea a la siembra
<b>Paraná</b>	<b>Trigo</b>	Cultivar	Alto potencial	Más sembrado
		Densidad (sem m <sup>-2</sup> ) Fósforo (FDA en línea a la siembra) Fungicida e Insecticida Nitrógeno Urea en macollaje	400 Suficiencia Si Dosis según análisis de suelo (135-x*)	350 Dosis Fija (70 kg ha <sup>-1</sup> ) Si Dosis Fija (80 kg ha <sup>-1</sup> )
	<b>Maíz</b>	Cultivar	Alto potencial, RR	Costo medio de semilla, RR
		Densidad (sem m <sup>-2</sup> ) Dist. e/ Hileras (m)	8 0.525	6 0.525
		Fósforo (FDA en línea a la siembra) Nitrógeno Urea en V6	Suficiencia Dosis según análisis de suelo (150-x*)	Dosis Fija (120 kg ha <sup>-1</sup> ) Dosis Fija (120 kg ha <sup>-1</sup> )

\* x=N-NO3- (0-0.60m)

En Paraná se incluyó en el experimento el factor de intensificación (I) de la secuencia, con dos niveles: alto y medio. En el nivel alto se incluye un cultivo de cobertura invernal leguminoso (melilotus, vicia o arveja), con el objetivo de incorporar N por vía de la fijación biológica para reducir los aportes inorgánicos del nutriente (fertilizantes) en la secuencia. El cultivo de cobertura, se incluye en el periodo más largo entre cultivos, luego de la cosecha de la soja y previo a la siembra de maíz.

El índice de intensificación de la secuencia (ISI, número de cultivos por año), es de 2 y 1.5 para cada nivel, respectivamente.

1. Alto (ISI=2, trigo/soja-melilotus/maíz)
2. Medio (ISI=1.5, trigo/soja- maíz)

A madurez fisiológica de los cultivos se evaluó la biomasa aérea y el rendimiento en granos.

Se estimó la evapotranspiración de los cultivos en base a mediciones de humedad del suelo y la utilización de balances hídricos por simulación. Se determinó la acumulación de N en la biomasa aérea y la concentración de N en los granos.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) se estimó como el cociente entre el rendimiento en granos total o materia seca total y la ET total de los cultivos. La eficiencia de captura de agua (ECA) se estimó como el cociente entre la ET total de los cultivos y las lluvias en el periodo evaluado, mientras que la productividad del agua (PA) se estimó como el producto de la EUA y la ECA (Caviglia *et al.*, 2004).

La productividad parcial de N (PPN) se estimó como el rendimiento total de los cultivos sobre la dosis total de N aplicado con los fertilizantes (Dobermann, 2007). La eficiencia fisiológica de uso del N se calculó como el cociente entre el rendimiento total y la cantidad total de N acumulado en la biomasa aérea. Se estimó un balance aparente de N como la diferencia entre el N total aplicado con los fertilizantes y el N exportado en los granos.

Los índices de productividad y eficiencia en el uso del N y del agua fueron determinados para la rotación completa (2 años de duración). Se calculó el promedio de los índices obtenidos para cada una de las dos fases y se realizó un análisis de la variancia y test de comparación de medias dentro de cada sitio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento en granos y en materia seca

El rendimiento total en granos fue mayor ( $P < 0.0001$ ) con el MIS que con el MAP en ambos sitios (Tabla 2). En Balcarce el rendimiento total en granos fue un 18 y 29% mayor que en Paraná, en los tratamientos MIS y MAP, respectivamente (Tabla 2).

La contribución de cada cultivo al rendimiento total tuvo marcadas diferencias entre sitios y entre tratamientos. La contribución del maíz en el tratamiento de MAP en Paraná fue del 43%, mientras que en el resto de las situaciones estuvo en el 61-63% (Figura 1). En consecuencia, la contribución de la soja y del trigo fue más importante en el tratamiento de MAP en Paraná que en el resto de las situaciones.

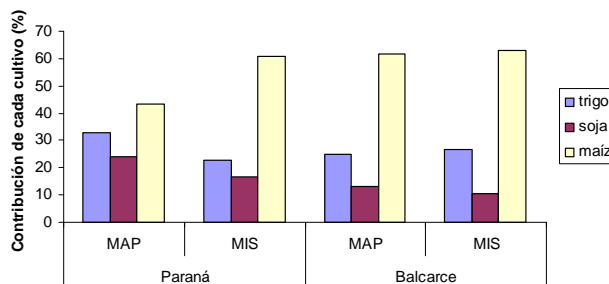


Figura 1. Contribución porcentual de cada cultivo al rendimiento total en grano en Paraná y Balcarce

El rendimiento de la soja fue muy poco afectado (<11% de diferencia) por los tratamientos (Tabla 2), así como el rendimiento del trigo en Paraná. El mayor efecto de los tratamientos (>20% de diferencia) se evidenció en el cultivo de maíz y en el cultivo de trigo en Balcarce.

La producción de materia seca total también fue afectada por los tratamientos de manejo en ambos sitios (Tabla 2), aunque el impacto de los mismos fue menor que para el rendimiento en granos.

Tabla 2. Rendimiento de trigo, soja y maíz, rendimiento total en granos, producción total de materia seca. Datos promedio de dos fases de rotación trigo/soja-maíz en Paraná (32°S; 60°W) y Balcarce (38°S, 58°W) durante las campañas agrícolas 2009/10 y 2010/11. Rendimientos expresados a 0% de humedad en el grano.

		<b>Paraná</b>		<b>Balcarce</b>	
		<b>MIS</b>	<b>MAP</b>	<b>MIS</b>	<b>MAP</b>
Rendimiento Trigo	kg ha <sup>-1</sup>	3333 b	3720 a	4621 a	3635 b
Rendimiento Soja	kg ha <sup>-1</sup>	2467 b	2735 a	1822 a	1941 a
Rendimiento Maíz	kg ha <sup>-1</sup>	8979 a	4918 b	10934 a	9053 b
Rendimiento total	kg ha <sup>-1</sup>	14779 a	11374 b	17376a	14629b
Materia Seca total	kg ha <sup>-1</sup>	35277 a	33019 b	36574a	32772b

En cada variable letras distintas dentro de cada sitio indican diferencias significativas según test de Tukey ( $\alpha=0.05$ )

### Uso del agua

La productividad del agua para granos ( $PA_g$ ) se incrementó significativamente ( $P<0.0001$ ) en el tratamiento de MIS en comparación con el de MAP (Tabla 3), en mayor medida en Paraná (30%) que en Balcarce (19%). Un comportamiento similar se registró para la productividad del agua para materia seca ( $PA_{MS}$ ), aunque con menor impacto de los tratamientos (Tabla 3).

Tabla 3. Productividad del agua para granos ( $PA_g$ ), para materia seca ( $PA_{MS}$ ), eficiencia el uso del agua para granos ( $EUA_g$ ) y para materia seca ( $EUA_{MS}$ ) y eficiencia de captura del agua (ECA) en el promedio de dos fases de rotación trigo/soja-maíz en Paraná (32°S; 60°W) y Balcarce (38°S, 58°W) durante las campañas agrícolas 2009/10 y 2010/11.

		<b>Paraná</b>		<b>Balcarce</b>	
		<b>MIS</b>	<b>MAP</b>	<b>MIS</b>	<b>MAP</b>
$PA_g$	kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	6.7 a	5.1 b	9.9 a	8.3 b
$PA_{MS}$	kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	15.9 a	14.9 b	20.8 a	18.6 b
$EUA_g$	kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	12.3 a	9.4 b	13.9 a	11.8 b
$EUA_{MS}$	kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	27.4 a	25.3 b	29.4 a	26.5 b
ECA	mm mm <sup>-1</sup>	0.59 a	0.59 a	0.71 a	0.70 a

En cada variable letras distintas dentro de cada sitio indican diferencias significativas según test de Tukey ( $\alpha=0.05$ )

Los valores de  $PA_g$  obtenidos en el tratamiento de MIS son muy elevados comparados con los 3-4 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> actualmente obtenidos en la Argentina (Estimado en base a estadísticas MAGyP, 2011), reflejando la potencialidad de la aplicación de estas estrategias de manejo para incrementar la eficiencia de los sistemas. Aunque la  $PA_g$  de los tratamientos de MAP también fue superior a los valores medios del país, esto es atribuible a la composición de cultivos de este experimento

(trigo/soja-maíz) en relación a la composición de la superficie cultivada a nivel nacional con alrededor del 60% de soja en su composición (Estimado en base a estadísticas MAGyP, 2011).

La mayores  $PA_g$  y  $PA_{MS}$  en los tratamientos de MIS estuvieron sólo asociadas con las mejoras en la  $EUA_g$  y  $EUA_{MS}$ , ya que no se registraron cambios en la eficiencia de captura del agua (ECA) por efecto de los tratamientos de manejo.

La mayor PA en Balcarce que en Paraná estuvo asociada tanto con la mayor ECA como con la mayor EUA, tanto para grano como para materia seca. A su vez, la mayor EUA en Balcarce puede atribuirse al menor déficit de presión de vapor (DPV) del sitio, tal como ha sido documentado previamente (Abbate *et al.*, 2004).

La mayor ECA en Balcarce que en Paraná estaría asociada con la menor cantidad de precipitaciones registradas en Balcarce (21% menos) en los dos años de la experiencia aquí documentada.

La intensificación de la secuencia en Paraná, incluyendo un cultivo de cobertura leguminoso invernal previo al maíz, mejoró significativamente la ECA pero no la  $EUA_g$ , resultando en cambios poco importantes, pero significativos, en la  $PA_g$  (Tabla 4).

Tabla 4. Productividad del agua para granos ( $PA_g$ ), eficiencia el uso del agua para granos ( $EUA_g$ ) y eficiencia de captura del agua (ECA) en el promedio de dos fases de rotación trigo/soja-maíz en Paraná (32°S; 60°W) durante las campañas agrícolas 2009/10 y 2010/11.

		<b>ISI=1.5</b>	<b>ISI=2</b>
$PA_g$	$kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$	6.2 a	5.6 b
$EUA_g$	$kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$	11.2 a	10.6 a
ECA	$mm\ mm^{-1}$	0.56 b	0.62 a

En cada variable letras distintas indican diferencias significativas según test de Tukey ( $\alpha=0.05$ )

Los resultados obtenidos sugieren que mediante el MIS serían esperables pocas mejoras de la PA por incrementos en la ECA y mejoras muy importantes en la EUA, mientras que la intensificación de la secuencia, i.e. incrementando la cantidad de cultivos por unidad de tiempo, lleva a mejoras importantes principalmente en la ECA. Así, combinando ambas estrategias de intensificación se pueden lograr mejoras en la PA, mejorando el componente de eficiencia de uso a través del MIS y el componente de eficiencia de captura a través de la intensificación de la secuencia.

### Uso del Nitrógeno

El N total acumulado por los cultivos fue similar entre tratamientos de manejo en Paraná y mayor en el MIS en Balcarce (Tabla 5). La cantidad total del Nacu fue mucho mayor en Paraná en comparación con Balcarce, lo que es atribuible a la mayor contribución de la soja al rendimiento total (Figura 1). La misma causa explica la mayor cantidad de N exportado ( $N_{exp}$ ) en los granos en Paraná, la que no difirió entre tratamientos de manejo en ambos sitios (Tabla 5).

Como era esperable la productividad parcial del N (PPN) fue mayor en los tratamientos de MAP que en los de MIS (Tabla 5), lo que se debe a que las dosis aplicadas en el tratamiento de MIS fueron mayores en relación al incremento en los rendimientos logrados.

Sin embargo, la eficiencia fisiológica de uso del N ( $EUN_{fis}$ ), i.e. la habilidad de los cultivos de generar grano por unidad de N acumulado, fue remarcablemente mejorada por los tratamiento de MIS

en relación a los de MAP (11% en Balcarce, 30% en Paraná) (Tabla 5). La mayor  $EUN_{fis}$  en Balcarce que en Paraná, se debería a la mayor contribución de maíz al rendimiento total, cultivo que tiene una alta eficiencia para transformar el Nacu en grano y materia seca (Sinclair & Horie, 1989).

Tabla 5. Nitrógeno total acumulado por los cultivos (Nacu), productividad parcial del N (PPN), eficiencia fisiológica de uso del N ( $EUN_{fis}$ ), N exportado en los granos (Nexp) y balance aparente de N en el promedio de dos fases de rotación trigo/soja-maíz en Paraná (32°S; 60°W) y Balcarce (38°S, 58°W) durante las campañas agrícolas 2009/10 y 2010/11.

		<b>Paraná</b>		<b>Balcarce</b>	
		<b>MIS</b>	<b>MAP</b>	<b>MIS</b>	<b>MAP</b>
Nacu	kg ha <sup>-1</sup>	431 a	433 a	384 a	355 b
PPN	kg ha <sup>-1</sup> kg N <sup>-1</sup>	108 b	132 a	78 b	90 a
$EUN_{fis}$	kg ha <sup>-1</sup> kg Nabs <sup>-1</sup>	34.3 a	26.4 b	45.8 a	41.3 b
Nexp	kg ha <sup>-1</sup>	311 a	312 a	311 a	287 a
Balance N	kg N ha <sup>-1</sup>	-121 a	-186 b	-147 a	-173 b

En cada variable letras distintas dentro de cada sitio indican diferencias significativas según test de Tukey ( $\alpha=0.05$ )

Asimismo, el balance de N fue mejorado por el MIS en un 15 y 35% en Balcarce y Paraná, respectivamente (Tabla 5).

Estos resultados demuestran que el MIS, combinando mejores prácticas de manejo, puede incrementar la eficiencia en el uso del N de manera considerable, mejorando los rendimientos, los aportes de residuos al suelo y el balance de N en el suelo. La mejora es atribuible principalmente a la utilización de genotipos más eficientes y al manejo ajustado de la nutrición de los cultivos, utilizando el conocimiento disponible en cada sitio.

Los resultados preliminares obtenidos en este trabajo son promisorios, ya que indican que la combinación de estrategias de manejo intensificado de los cultivos y de la secuencia pueden llevar a mejoras importantes en la eficiencia global de aprovechamiento de agua y N, lo que tendría su correlato en la reducción de la externalidades del sistema, ya que el N y el agua que no son aprovechados por el sistema agrícola intervienen en procesos degradativos del ambiente (Gregory *et al.*, 1992).

Está previsto que la duración de esta experiencia sea, al menos, de 10 años y que se incorporen mediciones del impacto ambiental de cada uno de estos sistemas incluyendo la emisión de gases de efecto invernadero, impacto sobre el almacenaje de C y N en el suelo y la pérdida de nutrientes y plaguicidas por lixiviación.

## CONCLUSIÓN

En Balcarce y Paraná, el manejo intensificado sustentable (MIS) mejoró el rendimiento total en granos de sistema y el retorno de residuos de cosecha al suelo en comparación con el manejo del productor medio de la zona (MAP).

La PA fue mejorada por el MIS en comparación con el MAP, principalmente por incrementos importantes en la eficiencia en el uso del agua. La ECA fue mejorada en Paraná por la intensificación de la secuencia, pero dicho incremento no fue suficiente para mejorar la PA.

El MIS incrementó la  $EUN_{fis}$  y el balance de N y redujo la PPN en comparación con el MAP.

## AGRADECIMIENTOS

A Andrea Irigoyen y Aida Della Maggiora de la UIB. A todos los participantes de la iniciativa de los sitios de Paraná y Balcarce. Este trabajo fue financiado por INTA, IPNI y FCA-UNMdP

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, PE; Dardanelli, JL; Cantarero, MG; Maturano, M; Melchiori, RJM. & EE Suero. 2004. Climatic and water availability effects on water-use efficiency in Wheat. *Crop Science*, 44, 474-483.
- Cassman, K. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.* Vol. 96, pp. 5952–5959.
- Caviglia, OP & FH Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean pampas: Capture and use efficiency of environmental resources. *Am. J. Plant Sci. Biotechnol* 3: 1-8.
- Caviglia, OP; Sadras, VO & FH Andrade. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat–soybean. *Field Crops Res.* 87: 117-129.
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. pp 1-28. In *Fertilizer Best Management Practices*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs). 7-9 March, 2007. Brussels, Belgium.
- Gregory, PJ; Ingram, JSI; Andersson, R; Betts, RA; Brovkin, V; Chase, TN; Grace, PR; Gray, AJ; Hamilton, N; Hardy, TB; Howden, S; Jenkins, A; Meybeck, M; Olsson, M; Ortiz-Monasterio, I; Palm, CA; Payn, TW; Rummukainen, M; Schulze, RE; Thiem, M; Valentin, C & MJ Wilkinson. (2002) Environmental consequences of alternative practices for intensifying crop production. *Agriculture, Ecosystem & Environment* 88, 279-290
- Lobell, DK; Cassman, K & C Field. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2009. 34:4.1–4.26
- MAGyP. 2011. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Base de datos sistema integrado de información agropecuaria. Disponible en: <http://www.minagri.gob.ar> Acceso 3 de marzo de 2011).
- OECD-FAO. 2009. *Agricultural Outlook 2009-2018*. Disponible en <http://www.agri-outlook.org/dataoecd/2/31/43040036.pdf>. Consultado Septiembre 2011.
- Sinclair, TR & T Horie, 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Science*, 29, 90-98.