



Costos Ambientales y Eficiencia Productiva en la Producción Agraria del Partido de Pergamino

Silvina M. Cabrini

Área de Economía y Sociología del INTA Pergamino,
scabrini@pergamino.inta.gov.ar

Carlos P. Calcaterra

Centro Regional Buenos Aires Norte de INTA
cpcalcaterra@pergamino.inta.gov.ar

Daniel Lema

Instituto de Economía y Sociología (IES) del INTA
danilema@correo.inta.gov.ar

Fecha de recepción: 4/02/2011. Fecha de aceptación: 11/10/2012

Resumen

Mediante un modelo de frontera de producción estocástica se analizó el nivel de eficiencia técnica para la producción de soja, maíz y trigo en empresas agropecuarias del partido de Pergamino, Buenos Aires, Argentina. El costo asociado a tres indicadores ambientales: balances de nutrientes, balance de materia orgánica y erosión hídrica, se consideró como parte de los insumos de producción. En promedio, la soja 1ra es el cultivo con costo ambiental más elevado, con un costo ambiental 53 u\$/ha mayor que en la secuencia trigo/soja y 76 u\$/ha mayor que en maíz. Se estimó un nivel de eficiencia promedio del 85%. Si bien este valor implica la posibilidad de aumentar un 15% la producción para un mismo nivel de insumos, es un valor elevado si se lo compara con mediciones realizadas en otros sistemas agrícolas extensivos. Aunque un alto nivel de eficiencia es consistente con un buen uso de los recursos, los resultados sugieren que es posible reducir los costos ambientales de los sistemas de producción mediante cambios en la combinación de cultivos. En la actualidad existe una fuerte predominancia del cultivo de soja en toda la región agrícola de Argentina. Una mayor superficie de cultivos con menores costos ambientales podría conseguirse mediante la implementación de políticas que fomenten estas producciones.

Palabras clave: Región Pampeana Argentina, empresas agropecuarias, agricultura extensiva, eficiencia, costos ambientales

Códigos JEL: Q12, Q51

Abstract

A stochastic frontier model is employed to analyze technical efficiency for soybeans, corn and wheat production in commercial farms in Pergamino, Buenos Aires, Argentina. The cost associated with three environmental indicators: nutrients balances, organic carbon balance and water erosion, is modeled as an input for efficiency estimation. On average, growing soybeans has an environmental cost 53 u\$/ha higher than growing the double crop wheat/soybeans and 76 u\$/ha higher than growing maize. Estimated average efficiency for agricultural production is 85%. This value indicates the possibility of increasing production by 15% while keeping the inputs level constant. This efficiency level is high compared to efficiency estimates for extensive agricultural systems reported by other authors. While a high efficiency level is consistent in a good use of available resources, results suggest the possibility of reducing environmental costs through changes in land allocation.



Currently, land share for soybeans is the highest of all crops in the main agricultural region. A larger share of crops with lower environmental costs could be achieved with policies that provide incentives for increasing the planting area for these crops.

Key words: *Argentine Pampas, commercial farms, extensive agriculture, efficiency, environmental costs.*

JEL Codes: Q12, Q51

1. Introducción

La teoría económica considera que un sistema de producción es técnicamente eficiente si no es posible obtener la misma cantidad de productos con menos insumos, o dicho de otra manera, si con la misma cantidad de insumos no es posible obtener mayor producción (Mas-Colell et al. 1995)¹. La medición de eficiencia y la detección de las características de las explotaciones agropecuarias relacionadas con altos niveles de eficiencia tienen importantes implicancias para el diseño de políticas del sector. El interés por estos temas se evidencia en el elevado número de trabajos de investigación relacionados a la cuantificación del nivel de eficiencia en actividades agrícolas y ganaderas (e.g. Byiringiro y Reardon 1996; Bravo-Ureta y Evenson 1994; Solis et al. 2006).

Bravo-Ureta y Pinheiro (1993) hacen una revisión detallada de los estudios destinados a medir eficiencia para las explotaciones agropecuarias en países en vías de desarrollo. Estos autores indican que el promedio de eficiencia técnica para estos estudios es del 72% y señalan que este valor indica que es factible incrementar la producción sin aumentar el nivel de insumos utilizados. Bravo-Ureta y Pinheiro resaltan que la mayoría de los trabajos encuentran una relación positiva entre el nivel de eficiencia y el grado de educación, los años

de experiencia en la actividad, el contacto con agentes de extensión y el acceso al crédito. Trabajos más recientes realizados en Sudamérica incluyen un estudio llevado a cabo por Richetti y Pereira Reis (2003), quienes analizan la producción de soja en la región de Mato Grosso do Sul en Brasil y estiman un nivel de eficiencia del 80%. Estos autores reportan también una relación positiva entre tamaño de las explotaciones y el nivel de eficiencia.

En respuesta principalmente a aumentos en la demanda de alimentos y biocombustibles en el mercado internacional, en los últimos años hubo un marcado crecimiento en la producción de cereales y oleaginosas en Argentina. Este incremento fue muy importante en particular en el cultivo de soja. La producción promedio de los cultivos más relevantes en la última década (2001-2010) en comparación con la anterior (1991-2000) muestra un incremento del 9%, 36% y 173% para trigo, maíz y soja, respectivamente.

Existe la percepción de que las empresas productoras de estos cultivos de la región agrícola núcleo de Argentina, son altamente eficientes, con un buen uso de la tecnología existente y una rápida incorporación de nuevas tecnologías. Sin embargo es muy acotada la literatura que mide el grado de eficiencia de estas empresas (Lema et al. 2003).

Con la expansión de la agricultura, se ha incrementado también la preocupación por los impactos ambientales de la producción de cultivos (e.g. Cabrini y Calcaterra 2009; Flores y Sarandon 2002; De Padra et al. 2003; Viglizzo et al. 2001). La agricultura genera cambios en los recursos naturales y puede alterar la provisión de los servicios

¹ En la teoría económica se distinguen dos tipos de eficiencia (Farrel, 1957). Eficiencia técnica (ET) es la capacidad de una empresa para producir la mayor cantidad de producto dada una cantidad de insumos y la tecnología existente. Eficiencia de asignación (EA) se refiere a la habilidad de la empresa de elegir las combinaciones de insumos y productos que maximiza el beneficio económico de la empresa. Las dos medidas de eficiencia se combinan en una medida de global de desempeño que es eficiencia económica (EE): $EE = ET \times EA$. Este estudio se centra en el estudio de ET.



ambientales. Se denominan servicios ambientales a los flujos de materiales, energía e información generados por el capital natural. Estos servicios ambientales se combinan con los bienes y servicios fabricados por el hombre para producir bienestar (Costanza et al. 1997). Por ejemplo el ciclado de nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos es uno de estos servicios ambientales.

La carencia de mercados donde se intercambian estos servicios implica que, en ocasiones, su valor no sea considerado correctamente en la toma de decisiones para la asignación de recursos. Se reconoce que estos servicios son valiosos para la sociedad, y la asignación de un valor marginal a estos servicios en un tema de suma importancia en la actualidad (Prabu 2007; Antle 2007).

Los conceptos presentados en el párrafo anterior brindan un nuevo marco para el análisis de la eficiencia de los sistemas agropecuarios. Las modificaciones en la provisión de servicios ambientales que generan los sistemas de producción deben ser tomadas en cuenta en la determinación del nivel de eficiencia productiva de las explotaciones. Bajo esta óptica la determinación de eficiencia productiva debería considerar no solo los productos e insumos que se intercambian en el mercado: maíz, soja, herbicidas, laboreo, etc, sino también las modificaciones en la provisión de servicios ambientales que generan los distintos sistemas de producción. Por ejemplo, algunos sistemas de producción pueden producir una disminución en el contenido de carbono del suelo, que en el mediano o largo plazo puede tener efectos negativos sobre los rendimientos de los cultivos.

Los principales efectos ambientales de los sistemas de producción en la región núcleo agrícola de Argentina están relacionados con modificaciones del recurso suelo. Distintos usos de la tierra alteran las características del suelo y por lo tanto modifican la capacidad de brindar los servicios ambientales necesarios para el crecimiento de los cultivos.

El objetivo de este estudio es medir el nivel de eficiencia de la producción agrícola en la zona núcleo maicera de Argentina, teniendo en cuenta explícitamente el efecto de los sistemas de producción en la provisión de servicios ambientales. Específicamente se considerarán los costos relacionados a los balances de los principales nutrientes, al balance de materia orgánica y a la erosión del suelo.

Los datos utilizados fueron generados mediante una detallada encuesta que se realizó en agosto y septiembre de 2007 entre productores de la cuenca del arroyo Pergamino, dentro del partido de Pergamino. La encuesta se realizó a 70 responsables de explotaciones agropecuarias, elegidas mediante un muestreo aleatorio estratificado por superficie de las explotaciones. La información de la encuesta comprende características de las empresas, de los responsables y de los sistemas de producción. Los datos recolectados permiten caracterizar los sistemas de producción, cuantificar la producción obtenida, el uso de insumos, y describir las prácticas de manejo.

El enfoque metodológico de este estudio consiste en estimar simultáneamente la frontera de producción y el nivel de eficiencia de las explotaciones, utilizando los métodos de estimación más difundidos en la actualidad. Se modela una frontera de producción paramétrica y estocástica (Aigner et al. 1977). Este modelo permite no solo medir niveles de eficiencia sino también estudiar la relación entre eficiencia y características socioeconómicas de los productores y otras características de las explotaciones agropecuarias.

2. Caracterización de la Zona de Estudio

La zona de estudio corresponde a la fracción de la cuenca del arroyo Pergamino que se encuentra dentro del partido de Pergamino, en la provincia de Buenos Aires (Fig. 1). El área comprende 137.782 ha, aproximadamente un 50% del partido de Pergamino.

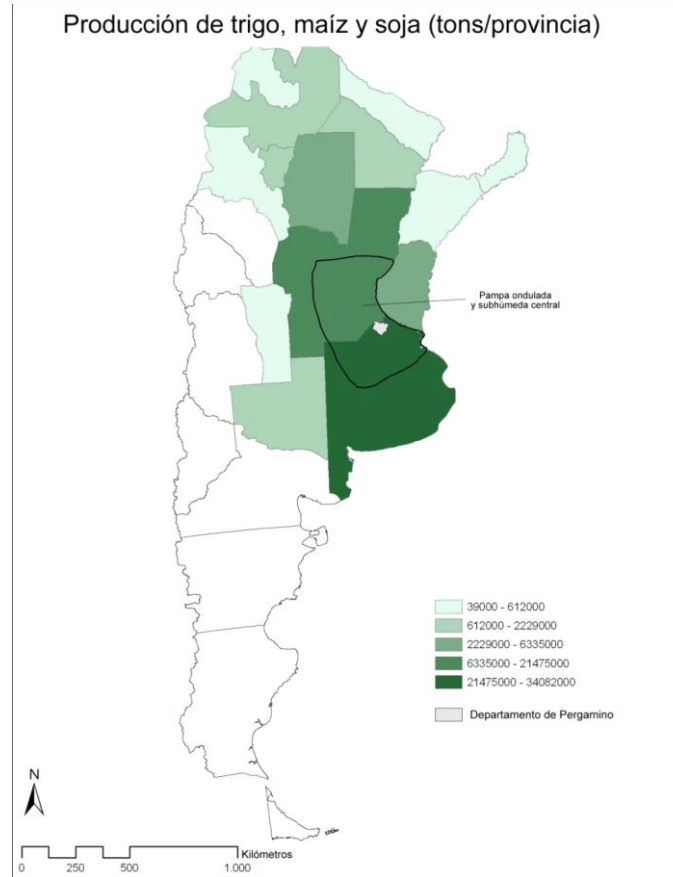


Figura 1. Área de estudio: Partido de Pergamino, Buenos Aires, Argentina. (La intensidad del color en cada provincia indica el volumen de producción combinada de los tres principales cultivos: maíz, soja y trigo).

El área pertenece a la región natural de la Pampa Ondulada. Esta región junto con la región Subhúmeda Central conforma la zona agrícola núcleo de Argentina (Fig. 1). Posee un relieve de planicies suavemente onduladas, recortadas por cañadas, arroyos y ríos. Las pendientes no superan el 2%, con extensas áreas relativamente planas con pendientes cercanas al 0.5%. Existen buenas reservas de agua subterránea en casi toda la zona. Hay un fuerte predominio de suelos con aptitud agrícola. Un 60% de la superficie corresponde a suelos clase I y un 84% a suelos agrícolas de las clases I, II y III. La vegetación natural originaria corresponde a pastizales pampeanos, compuestos principalmente por gramíneas. Estos pastizales se encuentran

totalmente modificados por la actividad agropecuaria.

3. Método de Muestreo

La muestra de productores para realizar la encuesta fue elegida al azar por estratos definidos por la superficie operada por las empresas. El listado de productores fue tomado del Censo Nacional Agropecuario del año 2002, INDEC. Este listado incluye 471 EAPs (explotaciones agropecuarias) en la zona de estudio. De esta lista se sortearon las EAPs para conformar la muestra. En varios casos en los que fue imposible localizar a los productores, o cuando los productores se rehusaron a completar la encuesta, se reemplazó la EAP sorteada por otra del mismo estrato también elegida al azar.



Tabla 1. Estructura de la población y composición de la muestra

Estrato	Superficie (ha)	EAPs Censadas 2002	Proporción en la población	EAPs encuestadas	Proporción en la muestra
1	50-150	205	0.44	26	0.37
2	151-500	179	0.38	30	0.43
3	>500	87	0.18	14	0.20
Total		471		70	

La Tabla 1 indica la composición de la población de estudio respecto a los estratos definidos para el muestreo y la composición de la muestra de este estudio. Se entrevistaron 70 EAPs, 26 del estrato 1 (50-150ha), 30 del estrato 2 (151-500ha) y 14 del estrato 3 (más de 500ha). La superficie operada promedio es de 355ha

4. Uso de la Tierra y Régimen de Tenencia

Los datos recolectados en la encuesta (campaña 2006/2007) indican que los cultivos agrícolas ocupan un 91% de la superficie total aprovechable, siendo la soja 1ra el cultivo predominante con un 56% de la superficie. Otros cultivos importantes son el trigo, maíz y soja 2da, con 13%, 15% y 16% de la superficie, respectivamente. Los recursos forrajeros ocupan un 8% de superficie, siendo las pasturas el recurso forrajero predominante con un 5% de la superficie (Tabla 2). Este trabajo estudia el nivel de eficiencia y costo ambiental para los principales cultivos de la zona: trigo, maíz, soja 1ra y soja 2da. Estas actividades abarcan en conjunto un 85% de la superficie encuestada.

En promedio, un 44% de la superficie operada es alquilada. Para la tierra que se toma en alquiler la cantidad promedio de campañas por las cuales se ha firmado un contrato de alquiler es de 1.4. Es frecuente que no exista contrato formal de alquiler o que estos se realicen por una única campaña. Por otro lado, la cantidad promedio de años en la que se ha trabajado un mismo lote de alquiler es de 10 años, indicando que existe continuidad en el uso de la tierra

aun en la ausencia de contratos formales. La forma de pago más común por el alquiler de la tierra es en quintales de soja por hectárea.

5. Niveles de Insumos y Productos en la Actividad Agrícola

Las Tablas 3 a 6 muestran estadísticas descriptivas de rendimiento, ingreso neto, gastos directos y margen bruto por unidad de superficie para las cuatro actividades agrícolas predominantes. Los datos corresponden a la campaña 2006/2007. El cultivo de maíz presentó en promedio los mayores valores de ingreso neto y margen bruto, 958 y 678 u\$/ha, respectivamente. Seguido por el doble cultivo trigo-soja 2da² (ingreso neto= 938 u\$/ha, margen bruto= 576 u\$/ha) y por último el cultivo de soja 1ra (ingreso neto= 634 u\$/ha, margen bruto= 451 u\$/ha). Sin embargo, la relación margen bruto/ gastos directos es mayor en la soja 1ra que en las otras dos alternativas.

En el cultivo de trigo los gastos de laboreo y fertilizantes son los de mayor peso dentro de los gastos directos, con 40% de gasto directo total para cada uno de estos rubros. Los principales rubros dentro de los gastos de maíz son laboreo, semillas y fertilizantes. A cada una de estas tres categorías les corresponde un 30% del gasto directo total. En soja el laboreo es el ítem con mayor peso, con un 50% y 60%

² Los valores de ingresos, gastos y márgenes se presentan para la secuencia trigo /soja 2da, ya que estos dos cultivos de realizan dentro de la misma campaña.



del gasto directo total para soja 1ra y 2da, respectivamente.

Tabla 2. Uso de la tierra

Porcentaje de la superficie dedicada a cada actividad	Estrato			
	General	1	2	3
Agricultura	90,8%	88,4%	89,6%	92,1%
Trigo	13,2%	4,8%	11,1%	16,4%
Maíz	15,3%	10,7%	12,1%	18,4%
Soja 1ra	56,4%	68,5%	59,2%	51,8%
Soja 2da	16,1%	7,1%	12,6%	20,4%
Otros cultivos	5,7%	4,4%	7,5%	5,0%
Recursos forrajeros	8,1%	9,4%	9,8%	6,6%
Pasturas con alfalfa	2,7%	3,1%	2,1%	2,9%
Pasturas con trébol	0,7%	0,0%	0,0%	1,3%
Pasturas con lotus	1,5%	1,1%	2,4%	1,0%
Verdeos de invierno	1,2%	1,1%	2,3%	0,6%
Verdeos de verano	0,4%	0,2%	1,0%	0,02%
Campo natural	1,6%	3,9%	2,0%	0,8%
Sin utilizar	1,2%	2,2%	0,6%	1,3%

Tabla 3. Ingreso y gastos directos en el cultivo de trigo

		Promedio	Desvío estándar	Máximo	Mínimo
Rendimiento	(qq/ha)	38	7	52	25
Ingreso neto	(u\$s/ha)	412	73	566	272
Gastos directos					
Labores	(u\$s/ha)	88	7	107	76
Semilla, inoculante y curasemillas	(u\$s/ha)	27	4	35	13
Herbidas	(u\$s/ha)	8	5	21	0
Insectidas	(u\$s/ha)	0,1	0,5	2,6	0
Fungidas	(u\$s/ha)	8	12	28	0
Fertilizante	(u\$s/ha)	75	32	123	0
Gastos totales	(u\$s/ha)	206	45	282	116
Margen bruto	(u\$s/ha)	206	57	322	94
(n = 31)					

Nota: el ítem labores incluye gastos de siembra, cosecha, pulverizaciones, etc. Los ingresos y gastos fueron calculados en base a datos obtenidos en la encuesta a productores y precios de mercado para la campaña 2006/2007



Tabla 4. Ingreso y gastos directos en el cultivo de maíz

		Promedio	Desvío estándar	Máximo	Mínimo
Rendimiento	(qq/ha)	96	14	125	57
Ingreso neto	(u\$/ha)	959	143	1245	568
Gastos directos					
Labores	(u\$/ha)	98	19	175	83
Semilla, inoculante y curasemillas	(u\$/ha)	72	3	79	64
Herbicidas	(u\$/ha)	28	11	58	2
Insecticidas	(u\$/ha)	0,1	0,2	0,6	0,0
Fungicidas	(u\$/ha)	0	0	0	0
Fertilizante	(u\$/ha)	83	34	157	0
Gastos totales	(u\$/ha)	281	41	362	204
Margen bruto	(u\$/ha)	678	136	937	305
(n = 37)					

Nota: El ítem labores incluye gastos de siembra, cosecha, pulverizaciones, etc. Los ingresos y gastos fueron calculados en base a datos obtenidos en la encuesta a productores y precios de mercado para la campaña 2006/2007

Tabla 5. Ingreso y gastos directos en el cultivo de soja 1ra.

		Promedio	Desvío estándar	Máximo	Mínimo
Rendimiento	(qq/ha)	37	5	47	28
Ingreso neto	(u\$/ha)	634	79	810	483
Gastos directos					
Labores	(u\$/ha)	99	13	141	81
Semilla, inoculante y curasemillas	(u\$/ha)	38	5	51	27
Herbicidas	(u\$/ha)	21	7	35	6
Insecticidas	(u\$/ha)	1	2	10	0
Fungicidas	(u\$/ha)	3	5	16	0
Fertilizante	(u\$/ha)	22	22	159	0
Gastos totales	(u\$/ha)	183	29	341	141
Margen bruto	(u\$/ha)	451	77	632	309
(n = 65)					

Nota: el ítem incluye gastos de siembra, cosecha, pulverizaciones, etc. Los ingresos y gastos fueron calculados en base a datos obtenidos en la encuesta a productores y precios de mercado para la campaña 2006/2007



Tabla 6. Ingresos y gastos directos en el cultivo de soja 2da.

		Promedio	Desvío estándar	Máximo	Mínimo
Rendimiento	(qg/ha)	30	4	38	21
Ingreso neto	(u\$/ha)	525	69	655	362
Gastos directos					
Labores	(u\$/ha)	87	5	99	79
Semilla, inoculante y curasemillas	(u\$/ha)	43	7	60	27
Herbicidas	(u\$/ha)	14	6	27	0
Insecticidas	(u\$/ha)	1	1	5	0
Fungicidas	(u\$/ha)	3	6	22	0
Fertilizante	(u\$/ha)	8	11	39	0
Gastos totales	(u\$/ha)	155	20	203	119
Margen bruto	(u\$/ha)	370	67	484	217
(n = 32)					

Nota: el ítem labores incluye gastos de siembra, cosecha, pulverizaciones, etc. Los ingresos y los gastos fueron calculados en base a datos obtenidos en la encuesta a productores y precios de mercado para la campaña 2006/2007

6. Costo Ambiental de la Actividad Agrícola

En los últimos tiempos ha crecido el interés en incorporar indicadores ambientales al análisis de los sistemas de producción agropecuaria. Estos indicadores miden los impactos de la actividad productiva sobre los recursos naturales, cumpliendo con los requisitos de ser fáciles de calcular e interpretar por los tomadores de decisiones. Viglizzo et al. (2006) proponen un conjunto de mediciones para caracterizar el comportamiento ambiental de los sistemas de agricultura extensiva en Argentina. Estas mediciones incluyen indicadores relacionados a efectos que se expresan fuera del sistema agropecuario como externalidades: riesgo de contaminación por nutrientes y pesticidas, intervención del hábitat, uso de energía fósil y balance de gases con efecto invernadero. Y otros indicadores que están estrechamente relacionados a alteraciones en la capacidad productiva del suelo, que afectan en el mediano o largo plazo el resultado económico del propietario: balances de nutrientes, balance de carbono en el suelo y pérdida de suelo por erosión.

En la zona de estudio, las características del suelo, el clima y los sistemas de manejo de los cultivos, determinan que mantener la capacidad productiva del suelo bajo sistemas de agricultura continua es una preocupación central (Cabrini y Calcaterra 2009; Plan Tecnológico Regional INTA Buenos Aires Norte 2009). Se considera que el bajo nivel en uso de insumos y las características de los suelos y relieve, determinan que los riegos de contaminación sean bajos en la actualidad. Por ejemplo, Los niveles actuales de aplicación de fertilizantes son muy bajos en comparación con los utilizados en países desarrollados. En la zona maicera de Estados Unidos una rotación soja/maíz se fertiliza anualmente en promedio con 93Kg/ha de nitrógeno (Vitousek et al. 2009) mientras que el promedio relevado es de 33Kg/ha para los productores de Pergamino (Cabrini y Calcaterra 2009). Por lo tanto, los balances negativos de nutrientes reciben una mayor atención que la aplicación en exceso de los mismos, en la zona de estudio. Asimismo, debido al bajo uso de fertilizantes y sistemas sin laboreo o con mínimo laboreo, la utilización de energía fósil en la agricultura Argentina es



solo una fracción de la utilizada en el norte de Europa (Viglizzo et al. 2002).

En este trabajo se consideran tres indicadores de los efectos ambientales de la agricultura: balances de nutrientes, balance de materia orgánica y erosión hídrica. A continuación se presentan los resultados de los cálculos de estos indicadores y su valoración económica. Los detalles de los datos y procedimientos utilizados para el cálculo de estos tres indicadores ambientales y la valoración económica de los mismos pueden consultarse en Cabrini y Calcaterra (2009)³.

6.1. Balance de Nutrientes

El primer indicador estudiado es el balance de nutrientes. Este balance mide la diferencia entre los nutrientes que entran al sistema a través de la fertilización de los cultivos y, en el caso del nitrógeno, la fijación biológica y la extracción de nutrientes en la producción cosechada o exportada del sistema. Numerosas publicaciones han comentado el balance negativo de nutrientes para los cultivos agrícolas y enfatizado la necesidad de tener en cuenta estos balances en el momento de tomar decisiones sobre el uso de la tierra y las prácticas de fertilización (e.g. Flores y Sarandón 2002; Darwich 2007).

La Figura 2 muestra los promedios de balances anuales de nutrientes para los cultivos. Los balances de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y calcio son negativos para las tres actividades agrícolas analizadas. En el caso de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio los balances son menos negativos para maíz, más negativos para trigo/soja e intermedios para soja 1ra. Esto ocurre porque la aplicación de fertilizante es mayor en el cultivo de maíz que en los otros cultivos, de modo que, a pesar de tener una alta tasa de extracción de nutrientes, el maíz es el cultivo que disminuye menos los contenidos

³ Los valores de costo ambiental presentados en este trabajo difieren levemente de los reportados en Cabrini y Calcaterra (2009). La diferencia se debe a que se tomaron precios de fertilizantes y productos en diferentes momentos para el cálculo de los mismos. Se tomaron precios promedio 2005-2009 en Cabrini y Calcaterra (2009) y campaña 2006/2007 en el presente trabajo.

de los principales nutrientes del suelo. El balance de azufre es menos negativo para soja 1ra comparado con los otros cultivos. La soja 1ra es el cultivo que recibe mayores dosis de fertilizante para este nutriente.

6.2. Balance de Materia Orgánica

El contenido de material orgánica en los suelos está asociado a la capacidad productiva de los mismos. Un mayor contenido de materia orgánica mejora la estabilidad de los agregados, favoreciendo la circulación de agua y aire en el suelo, y una mayor disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno (Alvarez y Steinbach 2006).

El contenido de materia orgánica se define por el balance entre el ingreso de material de origen vegetal y desechos animales y la pérdida por mineralización, principalmente a través de respiración microbiana. Los aportes en cantidad y calidad de materia orgánica dependen del tipo de cultivos que se implante y de los rendimientos. La tasa de mineralización depende principalmente de las precipitaciones y temperaturas. En el presente trabajo se utilizó el modelo calibrado por Andriulo et al. (1999) para calcular el balance de carbono orgánico (C).

La Figura 3 muestra que el balance anual promedio de carbono orgánico es negativo para todas las actividades agrícolas. El balance es aproximadamente 0 únicamente para la secuencia trigo/soja con alto rendimiento⁴. El cultivo con balance más negativo es la soja 1ra, con un balance promedio de -1.02 tn C/ha. El balance más favorable corresponde a trigo/soja, con -0.12 tn C/ha de promedio. El maíz presenta un valor intermedio con -0.24 tn C/ha.

6.3. Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica

La erosión tiene impactos negativos sobre la capacidad productiva de los suelos en el corto y el largo plazo. Los efectos en el corto plazo

⁴ Si bien para el nivel inicial de materia orgánica considerado (3.1%) los balance para maíz y trigo/soja son levemente negativos, se tornan positivos con contenidos de materia orgánica menores al 3%.



Figura 2. Balances de nutrientes para las principales actividades agrícolas.

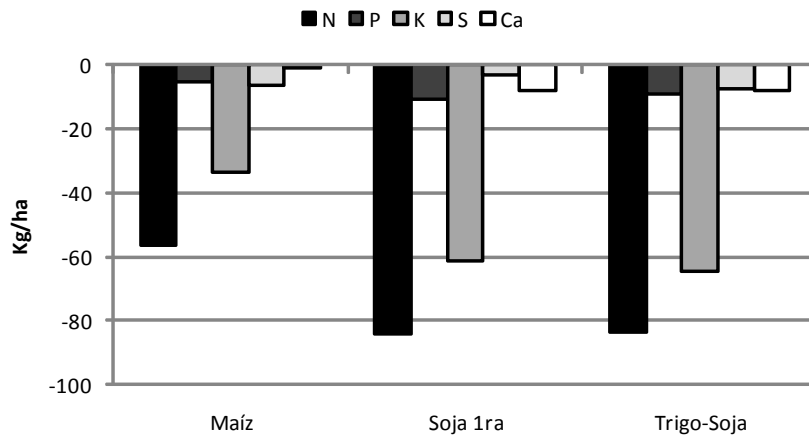
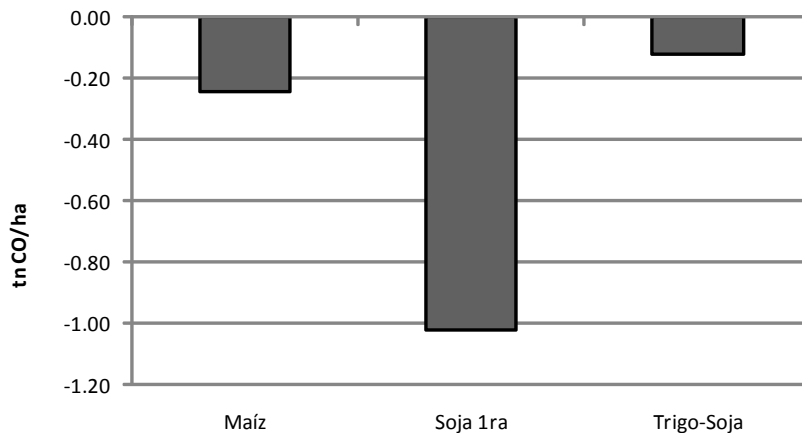


Figura 3. Balance de carbono orgánico para las principales actividades

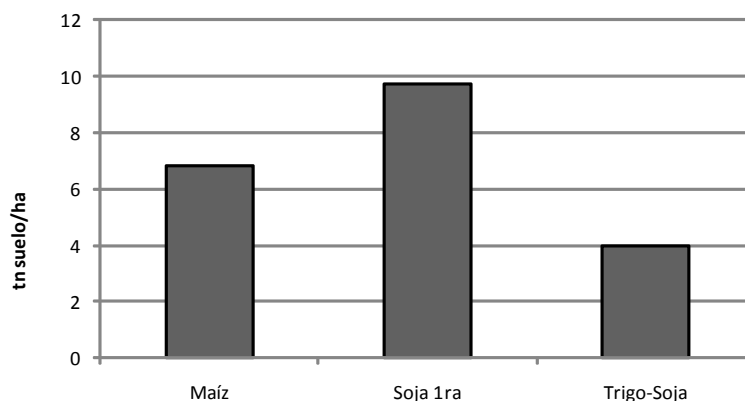


incluyen problemas en la implantación de los cultivos y pérdida por escurrimiento de agua y nutrientes. En el largo plazo, una menor profundidad efectiva del suelo determina una reducción en la profundidad efectiva de las raíces y una menor capacidad de absorción de agua y nutrientes (Lal et al. 2003). El método de cálculo de pérdida de suelo más popular es el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation). El modelo USLE se utiliza en este estudio para cuantificar a escala de lote la generación de sedimento como resultado de erosión laminar y por surco para cada cultivo.

La Figura 4 presenta los valores anuales de pérdida de suelo calculados. Los valores son bajos, si se considera que la tolerancia establecida para pérdida anual de suelo es de 11 tn/ha para suelos profundos (Schmidt 1982). Estos valores bajos se deben a que los suelos de la zona poseen escasa pendiente y la siembra directa está generalizada entre los productores, con un 92% de la agricultura realizada bajo esta técnica. La actividad que genera menor pérdida de suelo es trigo/soja, con una pérdida promedio de 3.97 tn suelo/ha,



Figura 4. Pérdida de suelo por erosión hídrica para las principales actividades agrícolas



seguido por maíz con una pérdida promedio de 6.85 tn suelo/ha. La mayor pérdida de suelo está asociada al cultivo de soja 1ra, con 9.7 tn/ha.

6.4. Valoración de Efectos Ambientales

En este estudio se utiliza el valor económico de los efectos de la agricultura sobre el suelo como un insumo de producción en la medición del nivel de eficiencia.

La valoración económica de los impactos ambientales de la agricultura resulta adecuada por dos motivos. En primer lugar, los indicadores ambientales pueden ser directamente relacionados a un aumento en los costos de producción o una disminución en la producción de bienes que tienen precios de mercado, en las siguientes campañas. En segundo lugar, las características de suelos y clima hacen que el partido de Pergamino sea una de las zonas más aptas del mundo para la producción agrícola, y determinan que la magnitud de los efectos reportados no implica una degradación irreversible del recurso suelo. Por ejemplo, los balances negativos de nutrientes pueden ser corregidos con la aplicación de mayores dosis de fertilizantes en el futuro. Adicionalmente, la pérdida de materia orgánica puede ser compensada con la incorporación de cultivos invernales de cobertura en las rotaciones. Finalmente, los niveles de erosión encontrados están por

debajo de los umbrales tolerables según indicaciones de la FAO (Schmidt et al. 1982).

La economía ambiental propone varios métodos para valorar servicios ambientales y los impactos de las acciones del hombre sobre estos servicios (Azqueta Oyarzun 1994; Cristeche y Penna 2008). Para bienes y servicios ambientales que participan en la producción de otros bienes que si tienen mercado, es posible utilizar el concepto de función de producción en la valoración económica. Este es el caso de este estudio, donde los nutrientes en el suelo, el contenido de materia orgánica y la profundidad del horizonte superficial del suelo, son parte de los factores de la producción de granos y carne. Para establecer el costo asociado a una disminución en la disponibilidad de los bienes ambientales podemos calcular el costo de reemplazar ese bien por un bien de mercado para mantener un mismo nivel de producción (*costos de reemplazo*) o podemos calcular el costo que representa la variación en la cantidad producida (*costos inducidos*).

Trabajos realizados por otros autores valoran los balances negativos de nutrientes mediante el costo de reemplazo, es decir el costo de reponer los mismos con fertilizantes comerciales. Esta forma de cálculo supone que los futuros usuarios de la tierra deberán incorporar en el corto plazo a sus cultivos los nutrientes que se están exportando (Flores y Sarandón 2002). Esto ocurre si se tienen



niveles de nutrientes en el suelo para los cuales hay un pendiente positiva en la función de producción, y el valor del producto marginal es igual o superior al precio del nutriente. Considerando que este es un método razonable para aquellos nutrientes que actualmente son limitantes para la producción agrícola, la valoración de los balances negativos de nitrógeno, fósforo, azufre y calcio se calcula de este modo. Al balance de potasio no se le asigna valor dado que no es un factor limitante en el mediano plazo (Ferraris et al. 2007). Concretamente, los balances de nitrógeno, fósforo, azufre y calcio se valoran multiplicando la magnitud de los balances por los precios de los elementos en el mercado. Para realizar este cálculo se tomaron los precios de fertilizantes para la campaña 2006/2007 expresados en dólares. En base a los costos de los fertilizantes y su composición, el costo por Kg de nutriente es u\$s 0.7 para nitrógeno, u\$s 1.6 para fósforo, u\$s 0.7 para azufre y u\$s 0.046 para calcio.

Para asignarle un valor a los balances negativos de materia orgánica y a la pérdida de suelo se calculan los costos inducidos, es decir se estima la pérdida de productividad asociada a estos indicadores. El producto marginal de estos factores se estima en base a resultados obtenidos por Irurtia y Mon (1996), quienes emplearon modelos de regresión múltiple para establecer relaciones entre distintas características de los suelos y los rendimientos de los cultivos en las localidades de Arrecifes, Salto y Pergamino. Promediando coeficientes publicados en este trabajo surge que una disminución de una tonelada de C orgánico por ha de suelo está asociada a una disminución en rendimiento de 9.42Kg/ha para trigo; 14.88 Kg/ha para maíz y 11.59 Kg/ha para soja. Una pérdida de una tonelada de suelo por ha está asociada a una disminución en rendimiento de 0.39, 1.3 y 0.33 Kg/ha para trigo, maíz y soja, respectivamente.

Para valorar económicamente la pérdida de rendimientos se tomaron precios de los granos en el mes de cosecha para la campaña

2006/2007 publicados por la Bolsa de Comercio de Rosario. Los precios utilizados son 159 u\$s/tn para trigo, 125 u\$s/tn para maíz y 246 u\$s/tn para soja. Con estos valores se calcularon las pérdidas económicas para una campaña de cada cultivo asociadas con disminuciones en el contenido de materia orgánica y en la profundidad del horizonte superficial del suelo. Luego se calculó una pérdida promedio por hectárea basada en la combinación de cultivos de la zona para la tierra agrícola: maíz 18%, soja 1ra 66%, trigo-soja 16%.

Esta pérdida anual promedio calculada es de u\$s 2.3 por la reducción de una tonelada de carbono en el suelo y u\$s 0.10 por la pérdida de una tonelada de suelo. Dado que esta baja del rendimiento se mantiene en el futuro, corresponde calcular una pérdida total como el valor actual de una serie infinita. Esto se realiza dividiendo estos valores por una tasa de interés del 5%. Este valor es bajo comparado con tasas de descuentos utilizadas para evaluar inversiones privadas, pero está en el centro del rango de valores estimados para tasa de descuento sociales para países de Latinoamérica (Lopez 2008). De este modo se obtiene un costo asociado a perder una tonelada de carbono por hectárea de 46 u\$s/ha y un costo asociado a perder una tonelada de suelo por hectárea de 1.6 u\$s/ha.⁵

La Tabla 7 resume los valores de costos ambientales por actividad. La soja de 1ra es el cultivo con costo ambiental más elevado, con un costo total de 164 u\$s/ha. El maíz es el cultivo con el menor costo ambiental, 88

⁵ Existen efectos de la erosión hídrica que no se tuvieron en cuenta para el cálculo de costos ambientales. La erosión tiene, además del efecto negativo de disminución de la productividad dentro del lote erosionado, otros efectos fuera del lote. Por un lado existe un aumento de la productividad en aquellos sectores enriquecidos por el depósito de material erosionado. Por el otro lado, existe un efecto negativo por la sedimentación de material erosionado que genera problemas para transitar caminos, contaminación de recursos hídricos y pérdida de valor recreacional de determinadas áreas (Crosson, 2007). Cristeche y De Prada (2008) encontraron que los efectos negativos de la erosión hídrica que se producen fuera del lote, pueden ser de gran magnitud de acuerdo a la valoración del problema por productores de la provincia de Córdoba.



Tabla 7. Costos ambientales por cultivo

		Promedio	Desvío estándar	Máximo	Mínimo
Maíz	(u\$/ha)	88	44	215	3
Soja 1ra	(u\$/ha)	164	31	212	-6
Trigo-soja	(u\$/ha)	111	49	235	17

u\$/ha. La secuencia trigo/soja tiene un costo ambiental intermedio de 111 u\$/ha. La mayor proporción de costo ambiental está asociada a los balances negativos de nutrientes

7. Modelo Estadístico de Frontera Estocástica

Los datos de rendimientos, ingresos, gastos directos y costos ambientales presentados en los párrafos anteriores se utilizaron en la estimación del nivel de eficiencia mediante un modelo de frontera de producción estocástica (Aigner et al. 1977):

$$\ln(IN_{agr_i}) = \beta_0 + \beta_1 * \ln(sup_i) + \beta_2 * \ln(uta_i) + \beta_3 * \ln(sem \& agr_i) + \beta_4 * \ln(fert_i) + \beta_5 * \ln(CA_i) + (v_i - u_i)$$

Donde:

IN_{agr} es el valor neto (descontados los gastos de comercialización) de la producción de trigo, maíz y soja de la empresa agropecuaria *i*, en u\$

sup es la superficie total destinada a maíz, soja 1ra y trigo-soja, en ha

uta es el gasto total en labores para maíz, soja 1ra y trigo-soja, en u\$

sem&agr es el gasto total en semillas y agroquímicos para maíz, soja 1ra y trigo-soja en u\$

fert es el gasto total en fertilizantes para maíz, soja 1ra y trigo-soja, en u\$

CA es el costo ambiental total para maíz, soja y trigo-soja, en u\$

(Las variables están transformadas a logaritmos)

El error del modelo tiene dos componentes: un componente aleatorio, v_i , y un componente aleatorio no negativo, u_i . El término de error v_i captura los errores de medición y otros factores aleatorios, tales como los efectos climáticos. El término u_i representa el nivel de ineficiencia de la empresa *i*.

Una ecuación adicional en el modelo (Battese y Coelli 1995), permite estudiar la relación entre el nivel de eficiencia y las características de las empresas y sus responsables:

$$u_i = \delta_1 * educ_i + \delta_2 * edad_i + \delta_3 * prop_pro_i + \varepsilon_i$$

Donde:

educ es el nivel promedio de educación alcanzado por los responsables de la empresa, en años

edad es la edad promedio de los responsables de la empresa, en años

prop_pro es la proporción de la superficie manejada que es propia

8. Resultados

Los resultados de la estimación del modelo de frontera estocástica se presentan en la Tabla 8. Las variables *superficie*, *semillas & agroquímicos* y *fertilizante* tienen coeficientes positivos y significativos de 0.55, 0.26 y 0.03, respectivamente. La suma de los todos los coeficientes de la ecuación da un valor muy cercano a uno, indicando retornos constantes a escala.



El resultado de la variable *uta* (*gasto total en siembra, laboreo, pulverizaciones y cosecha*) no significativa se debe a que en casi todos los casos se realiza siembra directa, sin laboreo del suelo, y la cosecha y pulverización están totalmente mecanizadas, por lo tanto esta variable es relativamente uniforme entre las empresas.

El costo ambiental posee un coeficiente de baja magnitud, y no es un factor significativo en el modelo estimado (valor- $p=0.44$). Esto indica que, si bien existen costos ambientales relacionados a la producción agrícola, las empresas que consiguen mayores niveles de producción no lo logran a costa de una mayor degradación del suelo.

El valor significativo (valor- $p<0.001$) del estimador de la varianza de u_i (γ) indica la presencia de ineficiencias en la producción agrícola de las empresas analizadas. Se estimó un nivel de eficiencia del 85%. Este valor implica que, en promedio, las empresas podrían haber obtenido un 15% adicional de producto agrícola, con relación a lo efectivamente observado, con las mismas cantidades de insumos.

Es interesante considerar los valores de eficiencia encontrados por otros autores. Por ejemplo, Bravo-Ureta y Pinheiro (1993) indican un promedio de eficiencia técnica de 72% para la producción agrícola en países en vías de desarrollo. Richetti y Pereira Reis (2003) reportan un nivel de eficiencia del 80% para la producción de soja en la región de Mato Grosso do Sul en Brasil. Lema y Poledo (2000) encuentran un nivel de eficiencia técnica media de 61% para establecimientos hortícolas de la provincia de Buenos Aires. De la comparación con estos valores, surge que el valor de eficiencia promedio del 85% estimado para producción agrícola en Pergamino es relativamente elevado. Este resultado apoya la noción de que la producción de cereales y oleaginosas en la región agrícola núcleo de Argentina se lleva a cabo con un alto nivel de eficiencia.

Se consideran tres características como potencialmente relacionadas con el nivel de eficiencia: máximo nivel de educación entre los responsables, la edad promedio de los responsables y la proporción de tierra manejada que es propia. Los resultados de la relación entre el nivel de eficiencia y estas variables se encuentran en la parte central de la Tabla 8.

El nivel de educación de los responsables es comúnmente considerado como determinante de nivel de eficiencia (Bravo Ureta y Pinheiro 1993). Es razonable esperar que los responsables con mayor nivel educacional tomen mejores decisiones en el manejo de los cultivos. Varios estudios reportaron una relación positiva significativa entre el nivel de educación y el nivel de eficiencia en agricultura (Bravo Ureta and Pinheiro 1993). Sin embargo, en el modelo estimado en este trabajo esta relación no es significativa. Este resultado podría explicarse con la noción que existe entre los profesionales del área de estudio, de que la gran mayoría de las decisiones de manejo de cultivo no son tomadas directamente por los responsables de las empresas sino que estos consultan con profesionales Ingenieros Agrónomos que actúan como extensionistas, asesores privados y representantes de empresas de ventas de agroinsumos.

La edad de los responsables ha sido estudiada como determinante del nivel de eficiencia por otros autores (Bravo-Ureta y Pinheiro 1993). Es posible que los empresarios de mayor edad tomen mejores decisiones dado que generalmente tienen mayor experiencia en la actividad. Por el otro lado, los responsables más jóvenes podrían tener una actitud más propensa a implementar los cambios que requieran nuevas tecnologías. En el modelo estimado, no se encontró relación significativa entre la edad y el nivel de eficiencia. Este resultado puede deberse a que ambos efectos se contrarresten, resultando una relación no significativa entre las variables. Por



Tabla 8. Resultados de la estimación del modelo de frontera estocástica

	Estimador	Error estándar	t	valor p	
constante	4,61	0,66	7,02	<0.0001	***
superficie	0,55	0,17	3,22	0,0022	***
uta	0,16	0,13	1,23	0,2246	
semillas y agroquímicos	0,26	0,12	2,08	0,0424	**
fertilizante	0,03	0,01	3,30	0,0017	***
costo ambiental	0,01	0,01	0,77	0,4417	
educación	-0,001	0,057	-0,018	0,9858	
edad	-0,014	0,035	-0,414	0,6808	
proporción de tierra propia	-0,879	1,500	-0,586	0,5601	
s²	0,297	0,468	0,635	0,5283	
Gamma	0,981	0,030	32,787	<0.0001	***
Log likelihood	24,50				
Estadístico LR	16,48				
No. de restricciones	4				
Eficiencia promedio	0,8483				

Nota: *** indica un efecto significativo de la variable para $\alpha=0.01$, ** indica un efecto significativo para $\alpha=0.05$

otro lado, la idea presentada en el párrafo anterior sobre el asesoramiento profesional es también una explicación posible para este resultado.

La forma de tenencia de la tierra también ha sido relacionada con el nivel de eficiencia. Por ejemplo, Helfald (2003) encontró que los productores que alquilan tierra son más eficientes que los dueños. En el presente trabajo no se encontró relación entre el régimen de tenencia y el nivel de eficiencia.

9. Discusión y Conclusiones

Este estudio utiliza un modelo de frontera estocástica para medir el nivel de eficiencia en la producción agrícola de la zona núcleo maicera de Argentina. Se considera la producción de los principales cultivos: soja1ra, maíz y trigo/soja

2da. El modelo de estimación incluye el valor económico de los efectos de la agricultura sobre el recurso suelo como uno de los insumos producción. Asignarle un valor económico a los impactos ambientales de la agricultura resulta adecuado porque estos pueden ser directamente relacionados a un aumento en los costos de producción o una disminución en la producción de bienes que tienen precios de mercado, y los efectos reportados no implican una degradación irreversible del recurso suelo.

La soja 1ra es el cultivo con costo ambiental más elevado, con un costo 53u\$\$/ha mayor que en la secuencia trigo/soja y 76 u\$\$/ha mayor que en maíz. El costo ambiental representa un 25% del ingreso neto para soja 1ra y un 10% para maíz y trigo/soja.

El nivel de eficiencia encontrado para productores agrícolas del partido de Pergamino



es del 85%. Este valor es relativamente alto si se lo compara con los valores obtenidos por otros autores (e.g. Bravo Ureta y Pinheiro 1993). Este resultado es consistente con la visión de que existe un buen uso de las tecnologías disponibles y una rápida adopción de nuevas tecnologías en la producción de cultivos en la zona de estudio.

A pesar de que la muestra de este estudio se limita a productores del partido de Pergamino. Es razonable suponer que la producción agrícola se realiza con niveles similares de eficiencia en una región más amplia que abarca la Pampa Ondulada y Pampa Subhúmeda Central (Figura 1). En otras regiones del país con una historia más reciente en producción agrícola es posible que los niveles de eficiencia sean menores.

Los resultados tienen implicancias para el diseño de políticas para el sector. El alto nivel de eficiencia encontrado, indica que invertir recursos públicos en programas de investigación que apunten a un desplazamiento de la frontera de producción generaría mayores beneficios que fomentar programas de extensión en agricultura extensiva para difundir el uso de la tecnología existente, en la zona de estudio.

Cabe destacar que si bien un alto nivel de eficiencia es consistente con un buen uso de los recursos, es razonable pensar que es posible reducir los costos ambientales de los sistemas de producción mediante cambios en la combinación de cultivos, sin sacrificar nivel de eficiencia. En la actualidad existe una fuerte predominancia del cultivo de soja en toda la región agrícola de Argentina. Los indicadores ambientales presentados en este trabajo: balances de nutrientes y carbono, y erosión hídrica toman valores menos favorables para el cultivo de soja, en comparación con otros cultivos adecuados para la zona. Por lo tanto, son necesarias las políticas de fomento, la incorporación de mayor superficie de otros cultivos en las rotaciones.

Finalmente, existen efectos ambientales de los sistemas de producción agrícola que no son considerados en este artículo, como el riesgo de

contaminación por nutrientes y pesticidas, la intervención del hábitat para fauna y flora natural, el uso de energía fósil y el balance de gases con efecto invernadero. Si bien actualmente no se consideran estos indicadores como los de mayor importancia, la creciente intensificación de los sistemas de producción, indica la necesidad de que estos efectos ambientales sean monitoreados, y posiblemente incorporados en futuras evaluaciones de los sistemas de producción de la región núcleo agrícola de Argentina.

REFERENCIAS

- Alvarez, R.y H. Steinbach, 2006. Valor Agronómico de la Materia Orgánica. Cap 2 en Materia Orgánica, Valor Agronómico y Dinámica en los Suelos Pampeanos. Ed. Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- Andriulo, A., B. Mary y J. Guérif, 1999. Modeling Soil Carbon Dynamics with Various Cropping Sequences on the Rolling Pampas *Agronomie* Vol.19: 365-377.
- Azqueta Oyarzun, D., 1994. El métodos de los Costos Evitados o Inducidos Capítulo 4 en Valoración Económica de la Calidad Ambiental Ed McGraw-Hill. Madrid, España.
- Aigner, D., C.A. Lovell y P. Schmidt, 1977. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics* Vol.6:21-37.
- Antle, J.. 2007. Measuring Ecosystem Services to Implement Efficient Payment Mechanisms. American Agricultural Economics Association Annual Meeting. Portland, OR, USA.
- Battese, G. y Coelli, 1995. A Model of Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics*. Vol.20:325-332.
- Bravo-Ureta, B.E. y R.E. Evenson, 1994. Efficiency in Agricultural Production: The Case of Peasant Farmers in Eastern Paraguay. *Agricultural Economics* Vol.10:27-37.
- Bravo-Ureta, B.E. y A.E. Pinheiro, 1993. Efficiency Analysis of Developing Country Agriculture: A Review of the Frontier Function Literature. *Agricultural and Resource Economics Review* Vol.22:88-101.
- Byiringiro, F. y T. Reardon, 1996. Farm Productivity in Rwanda: Effects of Farm Size, Erosion and Soil Conservation Investments. *Agricultural Economics* Vol.15:127-136.
- Cabrini, S.M. y C.P. Calcaterra, 2009. Sistemas de Producción en el Partido de Pergamino. Valoración



Económica del Impacto sobre la Capacidad Productiva de los Suelos Publicación INTA ISSN 1851-6955, No. 12.

Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. O'Neil, J. Paruelo, R. Raskin, P. Sutton y M. van der Belt, 1997. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature* Vol.387:253-260.

Cristeche E. y J. de Prada, 2008. Valoración Económica de los Efectos Externos de la Erosión de los Suelos. El Caso de Corte de Caminos en el Sur de la Provincia de Córdoba. Segundo Congreso Regional de Economía Agraria. Montevideo, Uruguay.

Crosson P., 2007 Soil Quality and Agricultural Development Capítulo 57 en Handbook of Agricultural Economic. Vol.3.

Darwich, N.A., 2007. El Balance Físico-Económico de las Rotaciones Agrícolas. Proyecto Fertilizar-INTA. www.fertilizar.org.ar.

Farrel, M., 1957. The Measurement of Productivity Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society A* Vol.120:253-290.

Flores C.C. y J.J. Sarandón, 2002. ¿Racionalidad Económica vs. Sustentabilidad Ecológica? El Ejemplo del Costo Oculto de la Pérdida de Fertilidad del Suelo Durante el Proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía Universidad de La Plata*. Vol.105(1):52-67.

Ferraris G. N., L. Couretot, M. Toribio y R. Falconi, 2007. Efecto de Diferentes Estrategias de Fertilización en Maíz sobre el Rendimiento y el Balance de Nutrientes en el Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Proyecto Regional Agrícola, Desarrollo Rural. INTA Pergamino.

Helfand, S.M. 2003. Farm Size and the Determinants of Productive Efficiency in the Brazilian Center-West. 25th International Conference of Agricultural Economists, August 16-22, Durban, South Africa.

Irurtia C.B. y R. Mon, 1996. Impacto de la Erosión Hídrica en la Producción de Granos en un Argiudol Típico de la Pampa Ondulada Informe del Instituto de Suelos. INTA.

Lal, R., C. den Biggelaar y K.D. Wiebe, 2003. Measuring On-site and Off-site Effects of Soil Erosion on Productivity and Environmental Quality OECD Expert Meeting on Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators. Rome, Italy.

Lema, D.; V. Brescia and E. Barrón. 2003. Dinámica de producción y eficiencia en empresas agrícolas. Metodología para el análisis de datos de panel Documento de Trabajo INTA-IES N° 29.

Lema, D. y M. Poledo, 2000. Análisis de la Eficiencia Técnica en Explotaciones Hortícolas. Trabajo de investigación presentado para la Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria, Rosario.

Lopez, H., 2008. The Social Discount Rate. Estimates for Nine Latin American Countries Policy Research Working Paper 4639. Banco Mundial.

Mas-Colell, A., M.D. Whinston y J.R. Green, 1995. *Microeconomic Theory*. Oxford University Press. New York

Plan Tecnológico del Centro Regional Buenos Aires Norte, INTA, 2009. <http://www.inta.gov.ar/bn/index.htm>

Prabu, P., 2007. Environmental Services, Payments and Developing Country Agriculture. American Agricultural Economics Association Annual Meeting. Portland, OR, USA.

Richetti, A. y R. Pereira Reis, 2003. The Soybean Production Frontier and Economic Efficiency in Mato Grosso do Sul, Brazil *Revista de Economia e Sociologia Rural* Vol.41:153-168.

Schmidt, B. L., J. V. Mannering y R. R. Allmaras. 1982. Determinants of Soil Loss Tolerance. ASA Special Publication.

Solis, D., B.E. Bravo-Ureta y R.E. Quiroga, 2006.. Technical Efficiency and Adoption of Soil Conservation in El Salvador and Honduras International Association of Agricultural Economists Conference. Gold Coast, Australia.

Viglizzo E. F., F. Frank, J. Berardos, D. E. Buschiazzo y S. Cabo, 2006. A Rapid Method for Assessing the Environmental Performance of Commercial Farms in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 109-134

Viglizzo, E. F., Pordomingo, Z. E., Castro, M. G., L'értora, F. A. y Solbrig, O. T., 2002. Environmental sustainability of Argentine agriculture: Patterns, gradients and tendencies 1960-2000. The David Rockefeller Center for Latin American Studies, Harvard University. Working Paper on Latin America, Paper No. 01/02-2, Cambridge.

Viglizzo, E.F., F. L'értora, A.J. Pordomingo, J. Bernardos, Z. Roberto, y H. del Valle, 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment* Vol.83: 65-81.

Vitousek, P.M., R. Naylor, T. Crews, M. B. David, L. E. Drinkwater, E. Holland, P. J. Johnes, J. Katzenberger, L. A. Martinelli, P. A. Matson, G. Nziguheba, D. Ojima, C. A. Palm, G. P. Robertson, P. A. Sanchez, A. R. Townsend y F. S. Zhang, 2009. Nutrient Imbalances in Agricultural Development. *Science* Vol. 324(5934): 1519-1520.