



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

Silvina M. Cabrini , Carlos P. Calcaterra y Daniel Lema



Febrero 2011

Silvina M. Cabrini es investigadora del Área de Economía y Sociología del INTA Pergamino y profesora de la cátedra de Economía General y Agraria de la Universidad del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, scabrini@pergamino.inta.gov.ar. Carlos P. Calcaterra es Asistente Regional del Centro Regional Buenos Aires Norte de INTA, cpcalcaterra@pergamino.inta.gov.ar. Daniel Lema es investigador del Instituto de Economía y Sociología (IES) del INTA y profesor de la Universidad del CEMA daniilema@correo.inta.gov.ar.

Resumen

Mediante un modelo de frontera de producción estocástica se analizaron los niveles de insumos empleados y productos obtenidos para los principales cultivos agrícolas en empresas agropecuarias del partido de Pergamino. En 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.

La soja 1ra es el cultivo con costo ambiental más elevado, con un costo ambiental 53u\$s/ha mayor que en la secuencia trigo/soja y 76 u\$s/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.

Los resultados indican que la actividad agrícola se desarrolla con un alto nivel de eficiencia en la zona de estudio. 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. No se detectaron relaciones significativas entre el nivel de eficiencia, y el nivel de educación, la edad de los responsables de las empresas y la proporción de tierra propia.

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 input/output relationships for agricultural production in commercial farms in Pergamino, Buenos Aires. The cost associated with three environmental indicators: nutrients balances, organic matter balance and water erosion, is modeled as an input for efficiency estimation.

Soybean is the crop with the highest environmental cost. 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. For soybeans, the environmental cost estimated represents a 25% of the net crop income. For corn and for the double crop wheat/soybeans environmental cost represents a 10% of net income.

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. The relationship between efficiency level and education, age and proportion of rented land was not statistically significant.

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. De Prada et al. (2003) miden la productividad de la agricultura extensiva en Argentina, encontrando que grandes empresas son responsables de los mayores niveles productivos pero estos sistemas de producción tienen un impacto negativo en la sostenibilidad. Si bien es común encontrar en los medios de comunicación de Argentina comentarios acerca de los altos niveles de eficiencia de la producción de cereales y oleaginosas en la región pampeana, no se ha realizado aún un estudio formal del nivel de eficiencia productiva en esta región.

En los últimos tiempos ha crecido el interés por conocer y valorizar los efectos de la producción agropecuaria en la provisión de los *servicios 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)². Por ejemplo la regulación del clima, la provisión de agua potable y la recreación son algunos de estos servicios. La actividad humana genera cambios en el capital natural y, por lo tanto puede modificar la provisión de servicios ambientales. La carencia de mercados donde se intercambian estos servicios implica que, en muchas 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 es un tema de suma importancia en la actualidad (Prabu, 2007; Antle, 2007).

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 output 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.

² El término servicios se utiliza para referirse en forma general a bienes y servicios

Los conceptos presentados en el párrafo anterior brindan un nuevo marco para el análisis de la eficiencia de los sistemas agropecuarios. Es ampliamente aceptado que los sistemas de producción agrícola/ganaderos pueden alterar el capital natural y por lo tanto la provisión de servicios ambientales. Estas modificaciones en la provisión de servicios ambientales 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, carne, herbicidas, laboreo, etc, sino también las modificaciones en la provisión servicios ambientales que generan los distintos sistemas de producción. Por ejemplo, bajo un sistema de siembra directa se produce acumulación de materia orgánica en el suelo, lo que implica mayor secuestro del carbono atmosférico comparado con sistemas de labranza convencional. Cuando se cuantifica la producción de una empresa que trabaja en siembra directa generalmente no considera el secuestro de carbono, ya que es un servicio de regulación del clima que el productor no puede vender en el mercado, al menos actualmente. Sin embargo, el secuestro de carbono tiene valor para la sociedad ya que contribuye a mitigar el calentamiento global, por lo sería correcto considerarlo como un producto de los productores agropecuarios que trabajan en siembra directa.

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 y beneficios relacionados al balance de nutrientes del suelo, 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 explotaciones, de los responsables de las empresas 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. Esta área comprende 137.782 ha, aproximadamente un 50% del partido de Pergamino (Figura 1).

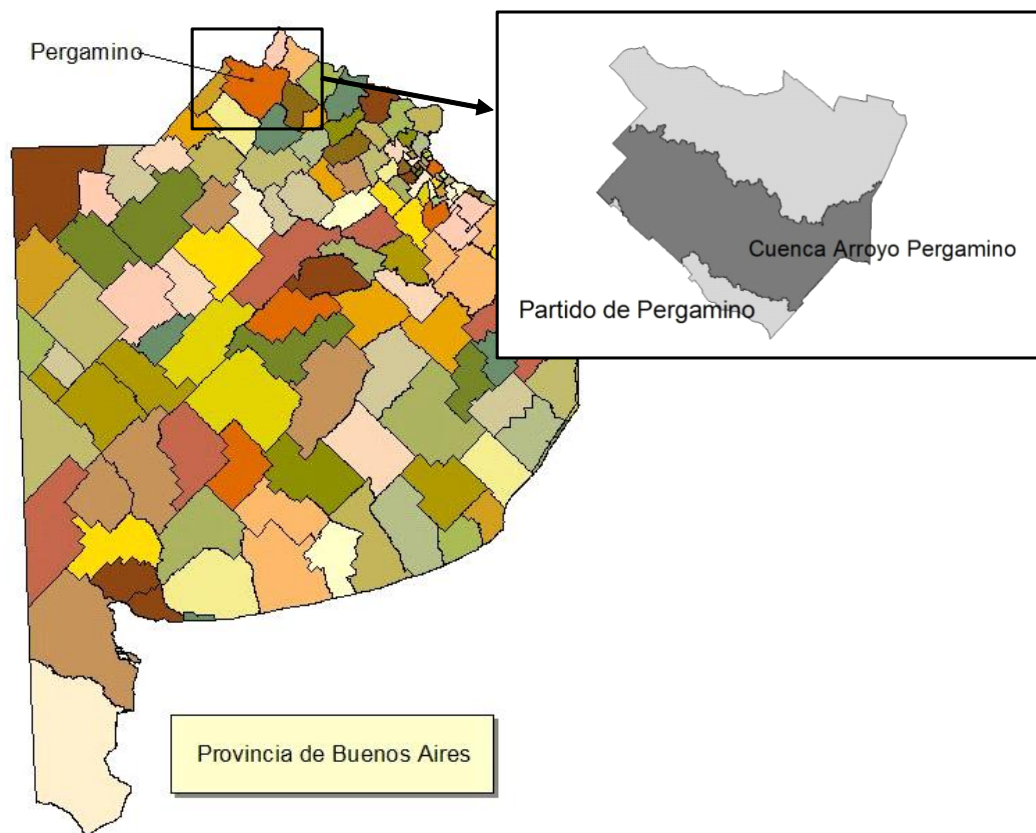


Figura 1. Mapa de la zona de estudio

El área pertenece a la región natural de la Pampa Ondulada. 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.

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.

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	

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

Tabla 2. Uso de la tierra

Porcentaje de la superficie dedicada a cada actividad	General	Estrato		
		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

		Desvío			
		Promedio	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
Herbicidas	(u\$s/ha)	8	5	21	0
Insecticidas	(u\$s/ha)	0.1	0.5	2.6	0
Fungicidas	(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

		Desvío			
		Promedio	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

		Desvío			
		Promedio	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 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 6. Ingreso y gastos de directos en el cultivo de soja 2da

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

(n = 32)

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

6. Costo Ambiental de la Actividad Agrícola

El costo ambiental para las actividades de agricultura se mide a través de la valoración económica de la degradación del suelo. Se consideran tres indicadores: 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 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

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.

pesar de tener una alta tasa de extracción de nutrientes, el maíz es el cultivo que disminuye menos los contenidos 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.

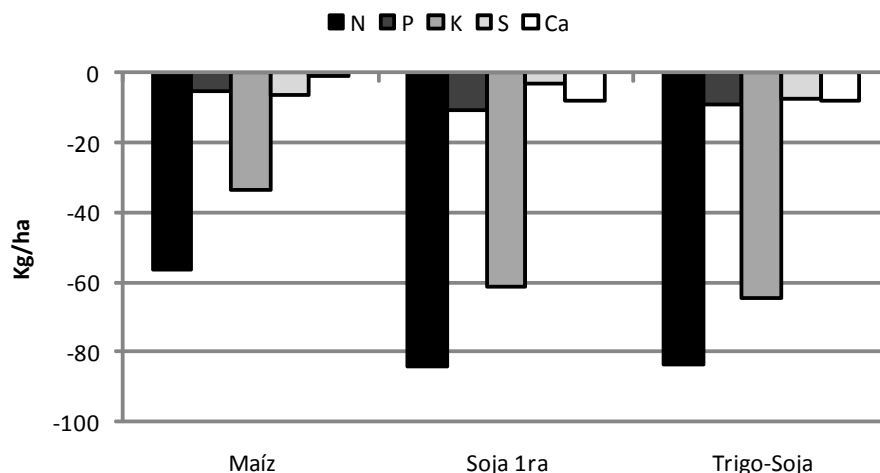


Figura 2. Balances de nutrientes para las principales actividades agrícolas

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.

La Figura 3 muestra que el balance 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.

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%.

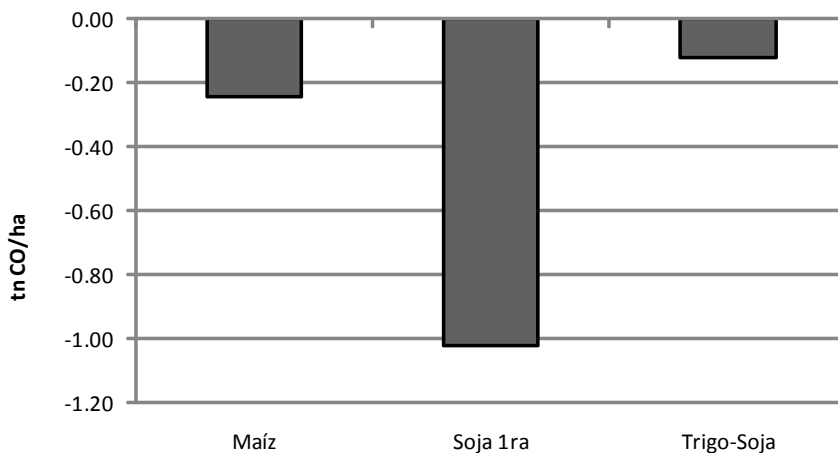


Figura 3. Balance de carbono orgánico para las principales actividades

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 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 de pérdida de suelo obtenidos. Los valores de pérdida de suelo son bajos, si se considera que la tolerancia establecida para pérdida anual de suelo es de 11 tn/ha. 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, 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.

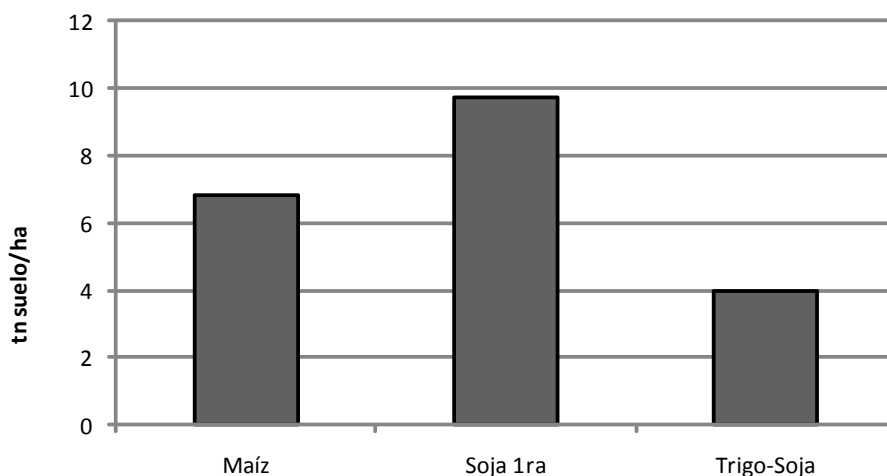


Figura 4. Pérdida de suelo por erosión hídrica para las principales actividades agrícolas

6.4. Valoración de Indicadores Ambientales

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 del balance por el valor de los elemento 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 s\$/tn para trigo, 125 u\$/tn para maíz y 246 u\$/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 \$3,32 por la reducción de una tonelada de carbono en el suelo y \$0,35 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\$/ha y un costo asociado a perder una tonelada de suelo por hectárea de 1,6 u\$/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\$/ha. El maíz es el cultivo con el menor costo ambiental, 88 u\$/ha. La secuencia trigo/soja tiene un costo ambiental intermedio de 111 u\$/ha. La mayor proporción de costo ambiental está asociado a los balances negativos de nutrientes.

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

Cabrini y Calcaterra (2009) encontraron una relación significativa inversa entre el costo ambiental promedio por hectárea y el tamaño de las explotaciones y cierta evidencia de que las empresas con menor proporción de tierra alquilada, con responsables de mayor edad y mayor nivel de educación presentan menores costos ambientales.

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):

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

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\$s

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\$s

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

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

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

(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 y Conclusiones

Los resultados de la estimación del modelo de frontera estocástica se presentan en la Tabla 8. El valor significativo del estimador de la varianza de u_i (gamma) 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 pampeana argentina se lleva a cabo con un alto nivel de eficiencia

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

	Estimador	Error estándar	t	valor p	
<i>constante</i>	4.61	0.66	7.02	<0.0001	***
<i>superficie</i>	0.55	0.17	3.22	0.0022	***
<i>uta</i>	0.16	0.13	1.23	0.2246	
<i>semillas y agroquímicos</i>	0.26	0.12	2.08	0.0424	**
<i>fertilizante</i>	0.03	0.01	3.30	0.0017	***
<i>costo ambiental</i>	0.01	0.01	0.77	0.4417	
<i>educación</i>	-0.001	0.057	-0.018	0.9858	
<i>edad</i>	-0.014	0.035	-0.414	0.6808	
<i>proporción de tierra propia</i>	-0.879	1.500	-0.586	0.5601	
<i>s2</i>	0.297	0.468	0.635	0.5283	
<i>Gamma</i>	0.981	0.030	32.787	<0.0001	***
<hr/>					
<i>Log likelihood</i>	24.50				
<i>Estadístico LR =</i>	16.48				
<i>No. de restricciones</i>	4				
<hr/>					
<i>Eficiencia promedio</i>	0.8483				

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

Entre los factores con efecto significativo en la determinación de la frontera de producción se encuentran la superficie destinada a los cultivos, el gasto en semillas y agroquímicos, y el gasto en fertilizantes. Los tres factores tienen el signo positivo, indicando una relación positiva entre el nivel de los mismos y la producción máxima alcanzable. El costo ambiental no es un factor significativo en el modelo estimado.

Con respecto a las características que potencialmente afectan el nivel de eficiencia de las empresas, no se encontraron efectos significativos de la edad, el nivel de educación de los responsables de las empresas y la proporción de tierra propia.

9. 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.
- Cristeche E. y J.A. Penna, 2008. Métodos de Valoración Económica de los Servicios Ambientales Publicación N°3 de la serie Estudios Socioeconómicos de la Sustentabilidad de los Sistemas de Producción y Recursos Naturales. Ediciones INTA.
- 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.

- De Prada, J.D., B.E. Bravo-Ureta y F. Shah., 2003. Agricultural Productivity and Sustainability: Evidence from Low Input Farming in Argentina. American Agricultural Economics Association Annual Meeting. Montreal, Canada.
- 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.
- 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 Biggerlaar 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. 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
- 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.
- 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.