

Asociación Argentina de Economía Agraria

Determinación del Costo Externo Asociado a la Pérdida de Carbono Orgánico del Suelo en Sistemas Agropecuarios del Partido de Pergamino

Daniel López, Silvina M. Cabrini, Ing. Luis A. Milesi Delaye¹

Categoría: Trabajo de Investigación²

IV Congreso Regional de Economía Agraria

XLV Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria

Buenos Aires, Octubre 2014

¹ Daniel Lopez es alumno de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad del Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, daniellopezunnoba@gmail.com. Silvina M. Cabrini es investigadora del Área de Economía y Sociología del INTA Pergamino y profesora adjunta de la cátedra de Economía General y Agraria de la Universidad del Nacional Noroeste de la Provincia de Buenos Aires cabrini.silvina@inta.gob.ar. Luis Milesi Delaye es investigador del INTA Pergamino del Área de Gestión Ambiental, milesi.luis@inta.gob.ar.

² Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto nacional de investigación INTA-PE1129024 y el proyecto regional con enfoque territorial PRET BANOR BANOR-1271103.

Determinación del Costo Externo Asociado a la Pérdida de Carbono Orgánico del Suelo en Sistemas Agropecuarios del Partido de Pergamino

Resumen

El objetivo de este trabajo es cuantificar el costo externo asociado a la pérdida de carbono orgánico del suelo en agricultura extensiva en el partido de Pergamino. Los datos utilizados fueron obtenidos en una encuesta a productores de Pergamino, para las campañas 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012. Se relevó información que permite caracterizar a las empresas y a los responsables, definir el uso de la tierra y los planteos técnicos de las actividades.

Se utilizó un modelo simulación del balance de carbono que permite estimar la evolución de carbono orgánico en el suelo bajo los diferentes usos del mismo y determinar el contenido de carbono en el equilibrio de largo plazo. Se determina para cada empresa la pérdida o ganancia en toneladas de carbono en el suelo y se valoran la emisión o captura de CO₂ utilizando dos niveles de precios de la tonelada de carbono en el mercado de bonos de carbono que abarcan el rango de precios de los últimos años.

Se determinó un costo externo promedio por emisión de CO₂ entre 51 y 255 € ha⁻¹, para dos precios de la tonelada de carbono de 6 y 30 € tn⁻¹, respectivamente. El valor de esta externalidad presenta un alto grado de variabilidad entre productores, existiendo algunas empresas donde podemos hablar de externalidad positiva, ya que el uso actual de la tierra esta asociado a la captura de CO₂.

Palabras clave: Agricultura extensiva, economía del carbono, región pampeana argentina

Abstract

The goal in this study is the assessment of the external cost associated to soil organic carbon loss in extensive agriculture in Pergamino Department, Buenos Aires, Argentina. The analysis is based on data on farming production systems and firm characteristics collected in a survey to farmers for crop years 2009-2010, 2010-2011 and 2011-2012.

A simulation model for soil organic carbon balance was employed to compute the changes in soil organic carbon for different land uses, and the long-term equilibrium for each farm. Based on carbon gains or losses in each farm and market prices in carbon permits markets, the economic value from carbon capture or emission is computed. Two different carbon prices are considered, representing high and low extreme prices levels in recent years.

The average external cost for CO₂ emissions was between 51 y 255 € ha⁻¹, for carbon prices of 6 and 30 € tn⁻¹, respectively. This externality has a large variability within farmers, and even in some cases there is a positive externality since current land use is associated with carbon capture.

Key words: Extensive agriculture, carbon economics, Argentina's Pampas

Determinación del Costo Externo Asociado a la Pérdida de Carbono Orgánico del Suelo en Sistemas Agropecuarios del Partido de Pergamino

Introducción

La combinación de cultivos y actividades ganaderas, y las tecnologías que eligen los responsables de las empresas agropecuarias está influenciada en gran medida por la evolución relativa de los precios de los diferentes insumos y productos. Sin embargo, la maximización del beneficio económico no es el único aspecto relevante en las decisiones del uso agropecuario de la tierra. El sector agropecuario está íntimamente ligado con el medio ambiente ya que depende fuertemente de los recursos naturales y puede afectar estos recursos. La expansión y la intensificación de la agricultura Argentina ha aumentado la preocupación por conocer los costos ambientales asociados a esta actividad (e.g, Cabrini *et al.*, 2013; Flores y Sarandon, 2002; Trossero *et al.*, 2012). Estos costos deberían ser considerados en la planificación del uso agropecuario de la tierra.

Organismos, científicos y naciones preocupados por el calentamiento global han centrado la atención en la posibilidad de "secuestrar" el carbono en el suelo para disminuir el CO₂ atmosférico mitigando el calentamiento global (Janzen, 2005; Bolinder *et al.*, 2007). Esta estrategia de mitigación del calentamiento se percibe como una alternativa con múltiples ganancias dado que la acumulación de carbono en los suelos está relacionada con una mejor circulación de agua y aire en el suelo, y una mayor disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno, que determinan mayores rendimientos en los cultivos (Loveland y Webb, 2003). Adicionalmente los suelos con niveles adecuados de carbono orgánico determinan menores riesgos de contaminación del agua subterránea y superficial con nutrientes y agroquímicos (Lal, 2003). Estos factores determinan que el contenido de carbono en los suelos sea tenido en cuenta como un indicador ambiental clave en sistemas agrícolas (Trossero *et al.*, 2012).

El objetivo de este trabajo es cuantificar los cambios en el almacenamiento de carbono en el suelo, según los distintos usos de la tierra y determinar el costo externo asociado a la pérdida de carbono del suelo en la agricultura extensiva del partido de Pergamino.

Datos y Métodos

Los datos utilizados en este estudio fueron obtenidos en una detallada encuesta a productores de Pergamino, para las campañas 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012. Se censaron un total de 19 productores de cinco microcuencas, delimitadas por el relieve superficial, ubicadas dentro de la cuenca del arroyo Pergamino, en el Norte de la Provincia de Buenos Aires. La superficie total de las microcuencas es de aproximadamente 4000 ha (Figura 1).

Mediante estas encuestas se relevó información que permite caracterizar a las empresas y a los responsables, las actividades productivas y los planteos técnicos de cada actividad. Se describen las empresas entrevistadas teniendo en cuenta la superficie total manejada, la proporción de tierra alquilada, el grado de profesionalización en la toma de decisiones de la empresa, y el nivel de diversificación de cultivos que se producen.

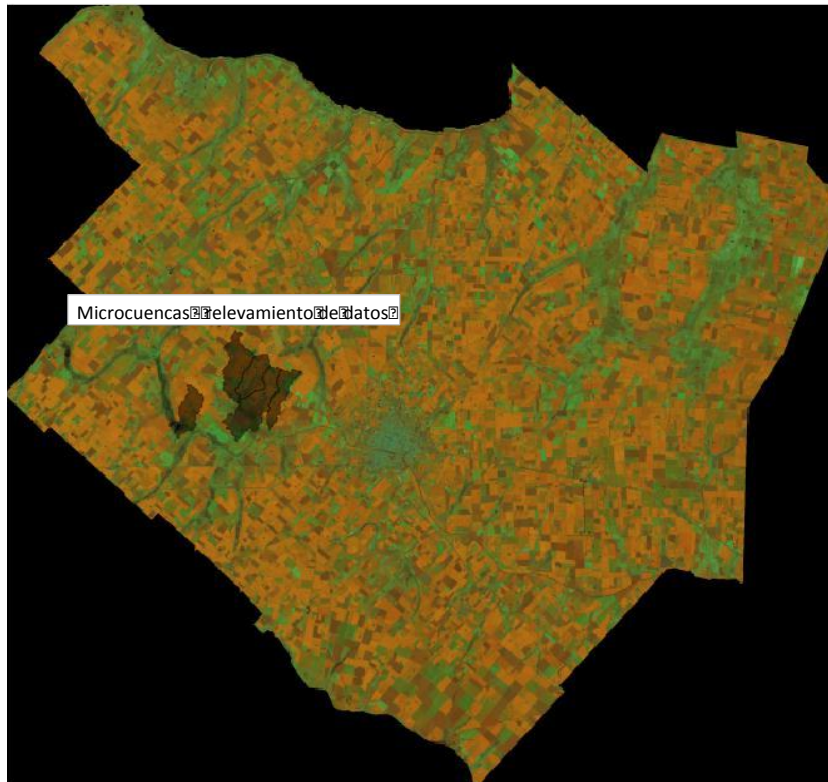
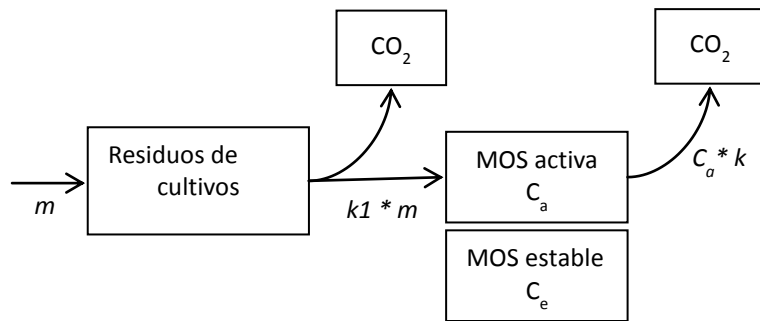


Figura 1. Localización del área de relevamiento de información, partido de Pergamino, Norte de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

El nivel de profesionalización se mide utilizando una variable binaria que toma el valor de 1 si la empresa está manejada por un profesional o cuenta con asesoramiento privado de un ingeniero agrónomo y cero, si no lo hace. El nivel de diversificación se mide en base al índice de concentración de Herfindahl. Este índice es comúnmente utilizado para medir el grado de concentración de las actividades económicas, y en este trabajo se calcula como la sumatoria de los porcentajes al cuadrado de la superficie asignada a cada uno de los cultivos. El valor más elevado del mismo corresponde a una empresa realiza monocultivo, valores menores corresponden a mayores niveles de diversificación productiva.

En base al uso del suelo agrícola reportado por los responsables de los establecimientos agropecuarios se define una rotación de cultivos en tierra agrícola para cada empresa. Los tipos y frecuencia de cultivos junto con los rendimientos promedio de tres campañas (2009/2010, 2010/2011, 2011/2012), expresados en materia seca, se utilizan como inputs en el modelo de balance de carbono AMG (Andriulo *et al.*, 1999; Milesi Delaye *et. al*, 2013) (Figura 2)



m : masa de carbono (C) anualmente aportada al suelo a través de los residuos de los cultivos: rastrojos, raíces y rizodepósitos, (tn C ha⁻¹ año⁻¹)

$k1$: coeficiente de humificación.

k : constante de mineralización.

MOS: materia orgánica del suelo.

C_a : Carbono orgánico del suelo activo tn C ha⁻¹

C_e : Carbono orgánico del suelo estable tn C ha⁻¹

Figura 2. Esquema del Modelo de Balance De Carbono Orgánico en Suelos Agrícolas AMG (Andriulo *et al.*, 1999)

El modelo permite simular la evolución de carbono orgánico (CO) en los primeros 20 cm del suelo (COS) bajo los diferentes escenarios y determinar el contenido de carbono en el equilibrio de largo plazo. Se determina para cada empresa la pérdida o ganancia en toneladas de carbono en el suelo que surge de comparar el contenido de carbono en la actualidad y el estimado en el equilibrio de largo plazo. Se utiliza como valor de carbono inicial el promedio para la zona de 42,8 tn C ha⁻¹ (primeros 20 cm de suelo) (Milesi Delaye *et al.*, 2013), ya que no se dispone de datos para cada uno de los establecimientos encuestados.

Con el objetivo de explorar la relación entre las características de las empresas, la diversificación de cultivos y el indicador ambiental de contenido de CO en el suelo se implementa un análisis de clúster jerárquico (Johnson y Wichern, 2002) para estudiar el agrupamiento de empresas en base a las variables relevadas.

La cantidad de toneladas de carbono que se pierden o ganan de acuerdo al uso de la tierra de cada empresa, se valoran económicamente en términos de externalidad negativa relacionada a la emisión de CO₂ a la atmósfera. El cálculo de este costo consiste en determinar en base a la cantidad de CO que se pierde o acumula en el suelo, el equivalente en cantidad de CO₂ que se emite o captura de la atmósfera, y este valor multiplicarlo por el valor de la tonelada de CO₂ en el mercado de bonos de carbono.

El mercado de bonos de carbono ha surgido con el objetivo de crear una señal económica para que los países y empresas tengan en cuenta los niveles de emisiones de carbono en la evaluación de usos alternativos de los recursos e inviertan en tecnologías capaces de reducir las emisiones. Un bono de carbono representa la reducción de una tonelada métrica (1.000 kilos) de CO₂ o su

equivalente en gases efecto invernadero. Los bonos de carbono son generados por medio de proyectos de energía renovable, mejoramiento de la eficiencia energética y programas de reforestación.

A pesar de que la iniciativa de ponerle un precio a las emisiones de carbono no es universalmente aceptada, y a que no existe la posibilidad para los productores de cobrar por capturar carbono en suelos agrícolas, los datos sobre precios que generan las transacciones en este mercado son útiles como guía para estimar el valor económico de las externalidades en actividades que capturan y emiten carbono. Dada la volatilidad del mercado de los bonos de carbono se utilizan dos niveles de precios que abarcan el rango de precios de los últimos años para realizar los cálculos: 30 y 6 € por tn CO₂ (Informe Prochile, 2012) .

Resultados

La Tabla 1 presenta las características de las empresas encuestadas. El tamaño promedio de superficie que manejan las empresas de las microcuencas es de 590 ha, con empresas que manejan superficies que abarcan 4000 ha hasta pequeñas empresas que manejan 30 ha. En promedio un 52% de la tierra está alquilada. En la gran mayoría de las empresas las decisiones de manejo son tomadas por profesionales, 17 de las 19 empresas indicaron que sus responsables son profesionales universitarios de las ciencias agropecuarias o que cuentan con asesoramiento privado.

Tabla 1. Características descriptivas de las empresas encuestadas

Empresa	Superficie total	Superficie alquilada	Toma de decisiones profesionalizada	Indice HH
	-- ha --	-- % --		
1	215	100	si	4412
2	60	100	si	3651
3	2500	100	si	8455
4	30	0	si	5000
5	350	0	si	2800
6	520	100	si	3304
7	96	0	si	6212
8	169	0	si	8337
9	4000	100	si	10000
10	1071	0	si	5804
11	60	100	no	6329
12	56	0	no	3740
13	370	100	si	5218
14	238	100	si	4365
15	464	0	si	6660
16	282	0	si	6041
17	450	100	si	10000
18	45	27	si	5556
19	236	73	si	4005
Máximo	4000	100		10000
Mínimo	30	0		2800
Promedio	590	53		5784

La última columna de la tabla muestra el índice de concentración de Herfindahl. El máximo valor (10000) corresponde a empresas que realizaron únicamente soja 1ra en toda la superficie en los 3 años relevados. Dos de las 19 empresas (empresas 9 y 17) realizan monocultivo de soja y por lo tanto presentan el máximo valor del índice. Cuanto más cultivos participan en la rotación y la proporción de los mismos es más balanceada, el valor del índice es menor. Por ejemplo la empresa con el menor nivel para este índice (HH=2800, empresa 5) incluye en la rotación 4 cultivos en proporciones balanceadas.

La Tabla 2 muestra los valores determinados en el modelo de balance de carbono para las distintas rotaciones. El valor de m (cantidad de carbono aportada anualmente por los cultivos) tiene un promedio de $3,94 \text{ tn C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La variabilidad entre empresas es alta, siendo el máximo de $7,38 \text{ tn C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para una rotación trigo/soja de segunda, con alto rendimiento y mínimo de $2,39 \text{ tn C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para una rotación soja/manzanilla.

La tabla muestra en las columnas 3 a 5 los niveles de carbono que se esperan en estos suelos en un equilibrio de largo plazo, si se manejan de acuerdo a las rotaciones definidas, con los rendimientos declarados. El stock de carbono del equilibrio (Ceq) promedio al que llegaría la microcuena en el largo plazo es de $40,5 \text{ tn C ha}^{-1}$ (para los primeros 20 cm de suelo), lo que representa un contenido promedio de materia orgánica de 2,69%. El máximo valor de materia

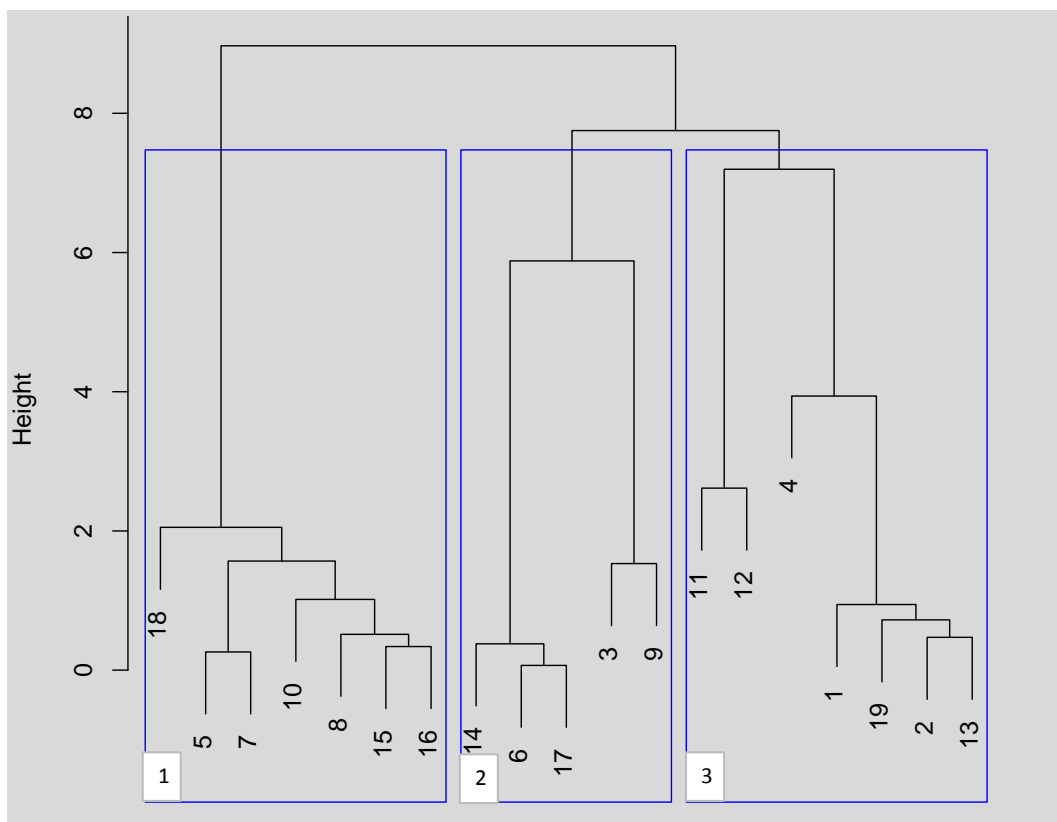
orgánica en equilibrio es 3,21% y el mínimo 2,48%. Se estima que en promedio se perderían una 2,3 tn/ha de carbono entre la actualidad y la situación de equilibrio. En 3 de los 19 establecimientos el uso de la tierra representa una ganancia de carbono en el suelo con respecto a la situación definida y en el resto se estiman pérdidas de carbono.

Tabla 2. Resultados del Modelo del Balance de Carbono en el Suelo, Productores Agropecuarios, Partido de Pergamino.

Empresa	Aporte anual de carbono por los residuos de cultivos m -- tn ha ⁻¹ año ⁻¹ --	Contenido de carbono en el suelo en el equilibrio de largo plazo Ceq -- tn ha ⁻¹ --	Contenido de carbono en el suelo en el equilibrio de largo plazo Ceq -- % --	Contenido de materia orgánica en el suelo en el equilibrio de largo plazo M Oeq -- % --	Pérdida/ ganancia de carbono orgánico del suelo Var CO -- tn ha ⁻¹ --	Rotación de cultivos (*)
1	4.24	40.84	1.57	2.71	-1.96	1 M - 2 S - 1 T/S
2	4.71	42.85	1.65	2.84	0.05	1 Avc/M - 1 Avc/S
3	3.03	38.91	1.50	2.58	-3.89	9 S - 1 T/S
4	7.38	46.80	1.80	3.10	4.00	1 T/S
5	4.76	41.84	1.61	2.77	-0.96	1 Mp - 1 Ar/S - 1 T/S
6	2.87	38.01	1.47	2.52	-4.79	6 S - 6 Mp - 1 T/S - 1 C/S - 1 Ar/S - 1 Av/S
7	4.49	41.68	1.61	2.76	-1.12	2 S - 1 T/S
8	3.28	39.39	1.52	2.61	-3.41	9 S - 1 M
9	3.27	39.63	1.53	2.63	-3.17	1 S
10	3.37	39.55	1.52	2.62	-3.25	7 S - 3 M
11	2.99	38.66	1.49	2.56	-4.14	7 S - 2 M - 1 A/S
12	5.03	42.56	1.64	2.82	-0.24	2 S - 2 T/S - 1 C/S - 1 M
13	4.78	42.00	1.62	2.79	-0.80	2 T/S - 1 S
14	2.60	37.59	1.45	2.49	-5.21	3 S - 1 M - 1 T/S - 1 C/S - 1 R/S
15	3.63	40.00	1.54	2.65	-2.80	7 S - 3 M
16	3.95	40.68	1.57	2.70	-2.12	7 S - 2 T/S - 1 M
17	2.60	38.01	1.47	2.52	-4.79	1 S
18	2.39	37.44	1.44	2.48	-5.36	1 S - 1 Manz/S
19	5.45	43.14	1.66	2.86	0.34	4 S - 3 M - 3 T/S
Máximo	7.38	46.80	1.80	3.10	4.00	
Mínimo	2.39	37.44	1.44	2.48	-5.36	
Promedio	3.94	40.50	1.56	2.69	-2.30	

Nota: (*) M= maíz, Mp= maíz pisingallo, S= soja, T= trigo, Avc= avena cobertura, Ar= arveja, C= cebada, R= raygrass, Manz= Manzanilla. Los valores numéricos para cada cultivo indican la proporción del cultivo en la rotación. Los valores de contenidos y porcentajes de carbono y materia orgánica del suelo son para los primeros 20 cm de profundidad.

Con el objetivo de analizar la relación entre el contenido de materia orgánica en equilibrio de largo plazo y las características de las empresas se presenta, en la Figura 3, el resultado de una agrupación mediante el procedimiento de *cluster jerárquico*. Se define en la figura un nivel de agrupamiento en tres grupos de 7, 5 y 7 empresas cada uno. El primer grupo representa una situación intermedia con respecto al contenido de carbono en equilibrio, superficie manejada y nivel de diversificación. El segundo grupo contiene las empresas de mayor tamaño, con mayor proporción de superficie alquilada, con responsables en promedio más jóvenes que en los otros grupos y menor nivel de diversificación. El uso del suelo de este segundo grupo determina el menor nivel de contenido de carbono en equilibrio. En el otro extremo al tercer grupo lo integran más chicas, con un nivel intermedio de superficie alquilada, pero un mayor nivel de diversificación. El uso del suelo de este grupo de empresas determina el nivel mayor de contenido de carbono en el suelo en equilibrio.



Promedios de las variables por grupo:

Grupo	Cantidad de empresas	Superficie total -- ha --	Superficie alquilada -- % --	Toma de decisiones profesionalizada	Índice HH	Materia Orgánica del suelo en equilibrio (%) -- % --	Edad responsable -- años --
1	7	354	0.04	1.0	5916	2.66	52
2	5	1542	1	1.0	7225	2.55	40
3	7	147	0.68	0.7	4622	2.81	49

Figura 3. Resultado del Agrupamiento de Empresas Mediante el Análisis de Clúster Jerárquico

La tabla 3 muestra los resultados de la valoración económica de la pérdida/ganancia de carbono. El máximo beneficio económico por captura de carbono es estimado entre 89 y 444 y € ha⁻¹ para los dos precios de carbono considerados (6 y 30 € tn⁻¹). El costo que corresponde a la máxima pérdida se encuentra entre 119 y 595 € ha⁻¹. El valor de la pérdida promedio de carbono es entre 51 y 255 € ha⁻¹. Considerando que es razonable asumir que el área censada representa una situación representativa del partido de Pergamino, estos valores expresados para la superficie agrícola del partido de representan un costo externo entre 11 y 56 millones €.

Tabla 3. Costo Externo Asociado a la Pérdida de Carbono Orgánico en Suelos Agrícolas

	Ganancia/perdida de carbono del suelo -- tn/ha --	Valor Económico -- precio tn CO2: €30 --	Valor económico -- precio tn CO2: €6 --
Máximo	4.00	444.36	88.87
Mínimo	-5.36	-595.12	-119.02
Promedio	-2.30	-255.08	-51.02

Partido de Pergamino

219887 ha de agricultura

	Ganancia/perdida de carbono del suelo -- tn/ha --	Valor Económico -- precio tn CO2: €30 --	Valor económico -- precio tn CO2: €6 --
	-504793	-56088116	-11217623

Conclusiones

En este estudio se valora la externalidad asociada a la pérdida de carbono en el suelo, considerando el uso de la tierra y los niveles de rendimientos de 19 establecimientos agropecuarios ubicados en cinco microcuencas del partido de Pergamino.

Se determinó un costo externo promedio por emisión de gases con efecto invernadero entre 51 y 255 € ha⁻¹, para dos niveles de precios de la tonelada de CO en el mercado de bonos de carbono (30 y 6 € tn⁻¹). El valor de la externalidad tiene un alto grado de variabilidad entre productores, para algunas empresas existe una externalidad positiva ya que el uso actual de la tierra genera la captura de CO².

Estos resultados son preliminares en el análisis de la economía de carbono en los sistemas agropecuarios, ya que resta considerar los costos o beneficios relacionados a cambios en la productividad del suelo. Este trabajo es un análisis parcial de la sustentabilidad de la producción agropecuaria, siendo parte de una evaluación mas amplia que incorpora múltiples criterios ambientales y económicos para caracterizar usos alternativos de la tierra en el partido de Pergamino.

Referencias

Alvarez, R. y H.S. Steinbach (2006) "Changes in Soil Organic Carbon Contents and Nitrous Oxide Emissions after Introduction of No Till in Pampean Agroecosystems" *Journal of Environmental Quality*. 35: 3-13.

- Andriulo, A., B. Mary y J. Guérif (1999) "Modeling Soil Carbon Dynamics With Various Cropping Sequences On The Rolling Pampas" *Agronomie* 19: 365-377.
- Bolinder, M., H.H. Janzen, E.G. Gregorich, D. Angers and A.J. VandenBygaart (2007). "An Approach For Estimating Net Primary Productivity And Annual Carbon Inputs To Soil For Common Agricultural Crops In Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4): 29-42.
- Cabrini, S.M., C.P. Calcaterra y D. Lema (2013) "Costos Ambientales y Eficiencia Productiva en la Producción Agraria del Partido de Pergamino." *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. 20: 27-43.
- 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*. 105(1): 52-67.
- Janzen H.H. (2005) "Soil Carbon: A Measure of Ecosystem Response in a Changing World?" *Canadian Journal of Soil Science*. 85: 467-480.
- Johnson R.A. y D.W. Wichern (2002) "Clustering, Distance Methods and Ordination" Chapter 12 in *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall. New Jersey. USA.
- Lal, R. (2013). "Soil Carbon Sequestration." *Solaw Background Tematic Report*. FAO. 36p.
- Loveland, P., y J. Webb (2003) "Is There a Critical Level of Organic Matter in the Agricultural Soils of Temperate Regions: A Review." *Soil & Tillage Research*, 70: 1-18.
- Milesi Delaye, L.A., A.B. Irizar, A.E. Andriulo, y B. Mary, B. (2013) Effect of Continuous Agriculture of Grassland Soils of the Argentine Rolling Pampa on Soil Organic Carbon and Nitrogen.
- Prochile (2012) "Estudio de Mercado de Bonos de Carbono" *Informe Comercial*.
- Trossero, M.E., G.E. Cordone y L. Donnet (2012) "¿Cuánto Vale La Pérdida De Carbono Orgánico Del Suelo?" *Publicación INTA Oliveros, Santa Fe*, 7-12.