

**“DETERMINACIÓN DEL COSTO ASOCIADO A LA PÉRDIDA DE CARBONO ORGÁNICO
DEL SUELO EN SISTEMAS AGROPECUARIOS DEL PARTIDO DE PERGAMINO”**

Trabajo Final

Del alumno

Daniel Adrián López

Este trabajo ha sido presentado como requisito
para la obtención del título de

INGENIERO AGRÓNOMO

Carrera: Ingeniería Agronómica



Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires

**“DETERMINACIÓN DEL COSTO ASOCIADO A LA PÉRDIDA DE CARBONO
ORGÁNICO DEL SUELO EN SISTEMAS AGROPECUARIOS DEL PARTIDO DE
PERGAMINO”**

Trabajo Final

Del alumno

Daniel Adrián López

Tutor: Dr. Silvina M. Cabrini

Co-Tutor: Ing. Luis A. Milesi Delaye

Jurado evaluador

Jurado evaluador

Jurado evaluador

Carrera: Ingeniería Agronómica

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales. Universidad Nacional del
Noroeste de la Provincia de Buenos Aires

Pergamino, 28 de agosto de 2015

Índice

Resumen	2
1. Introducción.....	3
1.1 Costos y Beneficios Ambientales Asociados a los Cambios en el Nivel de Carbono Orgánico del Suelo	4
1.1.1. Carbono Orgánico y Capacidad Productiva del Suelo	4
1.1.2. Captura de Carbono como Estrategia de Mitigación del Calentamiento Global.....	5
1.1.3. Valoración Económica del Secuestro/Emisión del Carbono del Suelo	5
2. Materiales Y Métodos	7
3. Resultados y Discusión	12
4. Conclusiones.....	18
5. Bibliografía	19

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

Resumen

El objetivo de este trabajo fue el de analizar la evolución de carbono orgánico del suelo (COS) para distintos usos de la tierra agrícola en campos de productores del partido de Pergamino y cuantificar el costo ambiental asociado a la pérdida de COS. Se consideraron los costos relacionados a la pérdida de productividad del suelo y los costos externos asociados a la emisión de CO₂ a la atmósfera.

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, a los responsables y definir el uso y manejo de la tierra. Se utilizó un modelo de simulación para estimar la evolución del COS bajo uso agropecuario y determinar el stock de COS en el largo plazo. Se determinó, para cada empresa, la pérdida o ganancia de COS, tomando como valor de referencia el contenido promedio actual de 42,8 tn COS ha⁻¹. Se calcularon cambios esperados en la productividad para el cultivo de soja y su valor económico. Adicionalmente se valorizó la emisión o captura de CO₂ considerando las cotizaciones de la tonelada de carbono en el mercado de bonos de carbono.

En promedio, el suelo en las subcuencas perdería, entre el estado actual de referencia y el equilibrio de largo plazo, 2 tn C ha⁻¹. Los cambios en el nivel de COS presentan una alta variabilidad entre los establecimientos agropecuarios analizados, con valores máximos de pérdida de 5 tn COS ha⁻¹ y valores máximo de captura de 4 tn COS ha⁻¹. Se determinó un costo oculto anual promedio relacionado a cambios en la productividad del suelo entre 12 y 16 u\$s ha⁻¹ (para precios de soja de 21 y 29 u\$s qq⁻¹, para julio 2015, con y sin retenciones) Se determinó un costo externo promedio por emisión de CO₂ entre 67 y 331 u\$s tn⁻¹, para precios de la tonelada de carbono de 8,4 (julio 2015) y 41 u\$s (máximo del período 2005 - 2015), respectivamente.

Los resultados sugieren que el COS en la región de estudio tiende, en promedio, a disminuir en el largo plazo, generando costos ambientales. Sin embargo es interesante destacar la existencia de planteos productivos que llevarían a un mantenimiento o ganancia de COS con respecto al valor de referencia.

Palabras clave: *Agricultura extensiva, economía del carbono, pampa ondulada*

1. Introducción

La evolución relativa de los precios de los diferentes insumos y productos influencia en gran medida la toma de decisión de los responsables de las empresas agropecuarias sobre las actividades productivas y la tecnología a aplicar. 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, pudiendo afectar a estos recursos. La expansión e intensificación de la agricultura argentina ha aumentado la preocupación por conocer los costos ambientales asociados a esta actividad (Cabrini *et al.*, 2013; Trossero *et al.*, 2012; Zazo *et al.*, 2011; Flores y Sarandon, 2002). Estos costos deberían ser considerados en la planificación del uso agropecuario de la tierra.

El nivel de carbono orgánico del suelo (COS) es tenido en cuenta como un indicador clave en la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (Trossero *et al.*, 2012; Berhongaray *et al.*, 2013; Milesi Delaye *et al.*, 2013; Caride *et al.*, 2013; Janzen, 2005). Los cambios en las reservas de COS están asociados a cambios en el uso y/o manejo de la tierra. En los ambientes de pastizal natural, la introducción de la agricultura produce una rápida caída del COS seguida por una declinación más lenta hasta que se alcanza un nuevo estado estable (Monreal y Janzen, 1993). Post y Kwon (2000) reportan pérdidas de hasta el 50% del COS en los primeros 20 cm de suelo cultivable, luego de 30 - 50 años de agricultura, en campos que originariamente poseen pastizales. Tilman *et al.* (2006) indican que el aumento de la diversidad de especies vegetales en sistemas agrícolas contribuye a aumentar el nivel de COS. Post y Kwon (2000) indican que el cambio de uso del suelo de agricultura o ganadería a producción forestal permanente ha dado como resultado las mayores ganancias de COS.

En la región pampeana argentina Berhongaray *et al.* (2013) encontraron mayores niveles de COS en situaciones de montes y pastizales naturales modificados, en comparación con lotes con pasturas implantadas y cultivos agrícolas. Otros resultados indican que suelos de praderas, en particular molisoles originalmente ricos en materia orgánica del suelo (MOS), pierden rápidamente cantidades de carbono (C) y nitrógeno cuando comienzan a ser cultivados (Milesi Delaye *et al.*, 2013).

Un mayor contenido de COS está asociado a efectos positivos tanto dentro como fuera de las empresas agropecuarias (Stockmann *et al.*, 2013, Bollinder *et al.*, 2007). Dentro de la empresa, un mayor nivel de COS está asociado a mejoras en la capacidad productiva del suelo, a través de un aumento en la estabilidad de los agregados, favoreciendo la circulación de agua y una mayor disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno (Alvarez y Steinbach, 2006). Hacia fuera de la empresa agropecuaria, el "secuestro" de COS disminuye el CO₂ atmosférico funcionando como una herramienta de mitigación frente al cambio climático, (Janzen, 2005). Adicionalmente, a mayor cantidad de COS menores son los riesgos de contaminación del agua subterránea y superficial con agroquímicos (Lal, 2013).

El objetivo de este estudio es cuantificar los costos asociados a la pérdida de COS bajo los distintos usos de la tierra encontrados en campos de productores del partido de Pergamino.

Este objetivo incluye los objetivos específicos de (i) Identificar los distintos usos de la tierra en campos de productores del partido de Pergamino, (ii) determinar los balances de COS para los distintos usos del suelo, (iii) determinar los costos asociados a la pérdida de COS.

1.1 Costos y Beneficios Ambientales Asociados a los Cambios en el Nivel de Carbono Orgánico del Suelo

1.1.1. Carbono Orgánico y Capacidad Productiva del Suelo

Los beneficios de la MOS para el crecimiento de las plantas y la producción son bien conocidos y están relacionadas con su papel fundamental en la fertilidad de los ecosistemas terrestres. Un contenido de MOS elevado está asociado a mejoras en la fertilidad *física* (mejora en la dinámica del agua y del aire, aumento de la infiltración y retención de agua que se traducen en una reducción del escurrimiento superficial y erosión, de los procesos de estrés hídrico y de los riesgos de la contaminación por fuentes no puntuales), *química* (retención y disponibilidad de N, P, S, Zn) y *biológica* (aumento de la biodiversidad del suelo y de la actividad microbiana y de la macrofauna), que favorecen el establecimiento y crecimiento de las plantas, con la consecuente obtención de mayores rendimientos de cultivos y forrajes (Lal, 2013; Loveland y Webb, 2003). Esta relación entre el nivel de MOS y la productividad fomenta, desde décadas atrás, la búsqueda de sistemas para la mitigar la pérdida de COS (Janzen, 2005).

A pesar que la relación entre el contenido de COS y varias propiedades determinantes del estado de salud del suelo han sido bien documentadas, la cuantificación de la relación entre el contenido de COS y los rendimientos de los cultivos es compleja. En la pampa ondulada, Alvarez y Grigera (2005) evaluaron los factores que explican la variabilidad del rendimiento de maíz y trigo mediante modelos de simulación. Los resultados mostraron que el contenido de MOS no fue un factor determinante directo del rendimiento, considerando niveles de MOS entre 1,87 y 5,95 % (0-20 cm). Sin embargo existe un efecto indirecto sobre el rendimiento de estos cultivos debido a la alta correlación entre el nivel de MOS y el nivel de nitrógeno inicial originado por mineralización durante los periodos de barbecho.

Loveland y Webb (2003) indican que a pesar de que un valor crítico de COS del 2% para los primeros 20cm de profundidad de suelo (3,4 % MOS) fue propuesto para suelos agrícolas de zonas templadas, no existe evidencia cuantitativa suficiente para justificar este valor. La evidencia disponible sugiere que puede haber un intervalo óptimo o deseable de COS y que este umbral no es uniforme sino que depende de las características edafoclimáticas y de los sistemas de cultivos.

Recientemente, Bacigaluppo *et al.* (2011) propusieron identificar los factores edáficos y climáticos más influyentes en el rendimiento del cultivo de soja en siembra directa. Para ello recogieron datos de cuatro campañas (2001/2002 a 2004/2005), en campos de producción de la región pampeana. Los valores de MOS en los campos relevados fueron desde 2,23% hasta 3,55% (0 – 20 cm). Los resultados mostraron una correlación significativa positiva entre el rendimiento y el contenido de MOS. En el mismo trabajo cuantificaron, mediante modelos

de regresión múltiple, la pérdida de rendimiento en soja en función del contenido de MOS. Encontraron una pérdida esperada promedio de 4qq ha^{-1} por cada 1% de reducción en la MOS en los primeros 20 cm del suelo, en campañas en las que el nivel de precipitaciones durante el periodo reproductivo de la soja fue mayor a 180 mm.

1.1.2. Captura de Carbono como Estrategia de Mitigación del Calentamiento Global

El cambio climático ha sido en el último tiempo uno de los principales temas de discusión a nivel mundial en los ámbitos político, económico y social. La captura de C en los suelos es una de las estrategias que se propone para mitigar el cambio climático (Stockmann et al., 2013; Bolinder et al., 2007). Kirschbaum (2000) indicó que es probable que el calentamiento global tenga un doble efecto en el contenido de COS. Por un lado, el aumento en la temperatura incrementa las tasas de descomposición de la MOS, por otro, el aumento de concentración de CO_2 en la atmósfera determinaría una mayor productividad primaria neta y, por lo tanto, un aumento del aporte de C a través de los residuos vegetales. Teniendo en cuenta estos dos efectos que se producen de manera simultánea, se esperaría que el cambio neto en las existencias de COS no sea significativo en los próximos siglos. Sin embargo, Stockmann et al., (2013) describe que, en algunos casos, el suelo podría ser una fuente de mayor magnitud de CO_2 en el futuro a medida que la temperatura se eleva.

Sparling *et al.* (2006) indicaron que si se implementaran cambios en las prácticas de manejo para mejorar el nivel de COS, podría existir un beneficio de protección del medio ambiente de hasta 40 a 70 veces su beneficio asociado al aumento de los rendimientos de cultivos y forrajes.

1.1.3. Valoración Económica del Secuestro/Emisión del Carbono del Suelo

A pesar de que no existe un precio de mercado para la acumulación de C en suelos agrícolas, es posible asignarle a este beneficio un valor económico en base a la información que brindan los mercados de bonos de C. Los mercados de bonos de C surgen a partir del acuerdo internacional del *Protocolo de Kyoto*, que propone la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para poder llevar a cabo su objetivo se han implementado diversas medidas de mitigación de emisiones ejecutadas principalmente en países en vías de desarrollo. Estas medidas se ven aplicadas principalmente en forma de proyectos, los cuales, pueden ser financiados por países industrializados para cumplir con los compromisos de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero mediante la transacción de certificados de reducción de emisiones, llamados también bonos de C (Prochile, 2012).

Existen dos tipos de **mercados de C**: los **de cumplimiento regulado** y los **voluntarios**. El mercado regulado es utilizado por empresas y gobiernos que, por ley, tienen que rendir cuentas de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Está regulado por regímenes obligatorios de reducción de C, ya sean nacionales, regionales o internacionales. En el mercado voluntario, en cambio, el comercio de créditos se produce sobre una base facultativa. Las dimensiones de los dos mercados difieren notablemente. En 2008, se comerciaron en el mercado regulado 119.000 millones de dólares estadounidenses (u\$s), y en el voluntario, 704 millones u\$s (Hamilton *et al.*, 2009).

Según el Protocolo de Kyoto, los países en desarrollo (países no incluidos en el Anexo I) no están obligados a reducir sus emisiones de GEI, mientras que los países industrializados (Anexo I) tienen que cumplir objetivos específicos. Sin embargo, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) contemplado en este protocolo, posibilita a los países en vías de desarrollo participar de la reducción de C mediante la implementación de proyectos de desarrollo sustentables, certificando reducciones de emisiones de GEI en su propio país, los cuales se pueden comercializar con el mercado de bonos de C.

El Emissions Trading Scheme (ETS) es el esquema más grande de comercio multinacional de emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo y es un pilar fundamental de la política climática de la Unión Europea (UE) en el cual se emiten los European Union Allowances (EUA) que equivale al derecho de emitir una tonelada de CO².

Desde las primeras transacciones de EUA, los precios han tenido una alta volatilidad. Varios factores influyen en el nivel de estos precios, como el crecimiento de la economía, los precios de la energía, el volumen total de certificados y las decisiones políticas (Figura 1). Ello se ha podido apreciar en la fluctuación de precios de los EU ETS entre un mínimo de 0,3 u\$s (0,2€) tn⁻¹ CO₂ en junio 2007 hasta un máximo de 41 u\$s (30€) tn⁻¹ CO₂ en junio 2008, el precio actual en junio 2015 es de 8,4 (7,4€) u\$s tn⁻¹ CO₂.

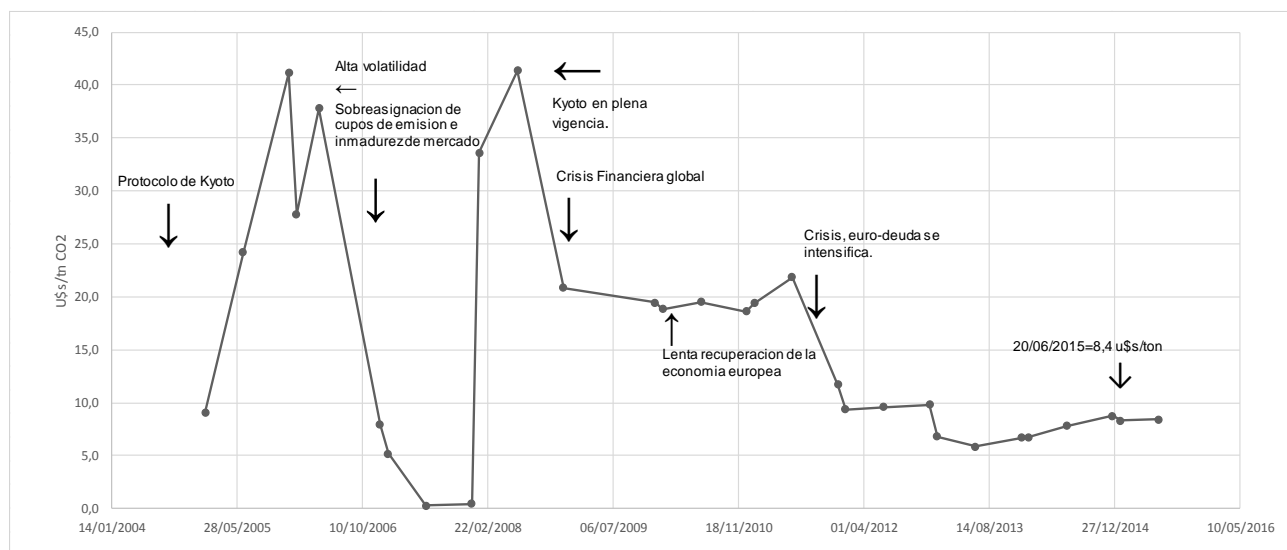


Figura 1 Evolucion de precio del mercado europeo de bonos de carbono

Fuente : <http://www.sendeco2.com/es/market-report.asp> ; <http://es.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data> ; CDC Climat research (2012)

Dentro de las actividades agrícolas que permiten certificar captura de C se encuentran el manejo forestal: forestación y reforestación, el manejo de los residuos de cultivos agrícolas y los proyectos de biogás. A pesar de que la iniciativa de ponerle un precio a las emisiones de carbono no es universalmente aceptada, ya 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.

2. Materiales y Métodos

La zona de estudio corresponde al partido de Pergamino, ubicado en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El área pertenece a la región natural de la Pampa Ondulada. Esta región junto con la Subhúmeda Central conforma la zona agrícola núcleo de Argentina. Maíz, trigo y soja son los principales productos agrícolas de la zona. La región 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.

Los datos utilizados en este estudio fueron obtenidos en una encuesta a productores de Pergamino, para las campañas 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012. Se entrevistaron un total de 19 productores de cinco subcuencas, delimitadas por el relieve superficial, ubicadas dentro de la cuenca alta del arroyo Pergamino, en el Norte de la Provincia de Buenos Aires (Figura 2). Mediante las encuestas se relevó información que permitió caracterizar a las empresas y a los responsables, las actividades productivas y los planteos técnicos de cada actividad. Se describieron las empresas encuestadas teniendo en cuenta la superficie total manejada, la proporción de tierra alquilada, la edad de los responsables, el grado de profesionalización en la toma de decisiones de la empresa, y el nivel de diversificación de cultivos.

Los datos de superficies manejadas fueron utilizados como un indicador del tamaño de las empresas. Se consideró el total de la tierra trabajada y no solo la ubicada dentro de las subcuencas, únicamente para determinar la variable tamaño de la empresa. El nivel de profesionalización se midió utilizando una variable binaria que toma el valor de 1 si la empresa está manejada por un profesional con título universitario de carreras afines a la producción agropecuaria o cuenta con asesoramiento profesional privado, y cero si no lo hace. El nivel de diversificación de actividades productivas se estimó en base al índice de concentración de Herfindahl-Hirschman (HH). Este índice, el cual toma valores entre 0 y 10000, es comúnmente utilizado para medir el grado de concentración de las actividades económicas (Parkin, 2004), y en este trabajo se calculó como la sumatoria de los cuadrados de los porcentajes de la superficie asignada a cada uno de los cultivos, teniéndose en cuenta solo los suelos con aptitud agrícola. El valor más elevado del mismo corresponde al uso de tierra con un único cultivo.

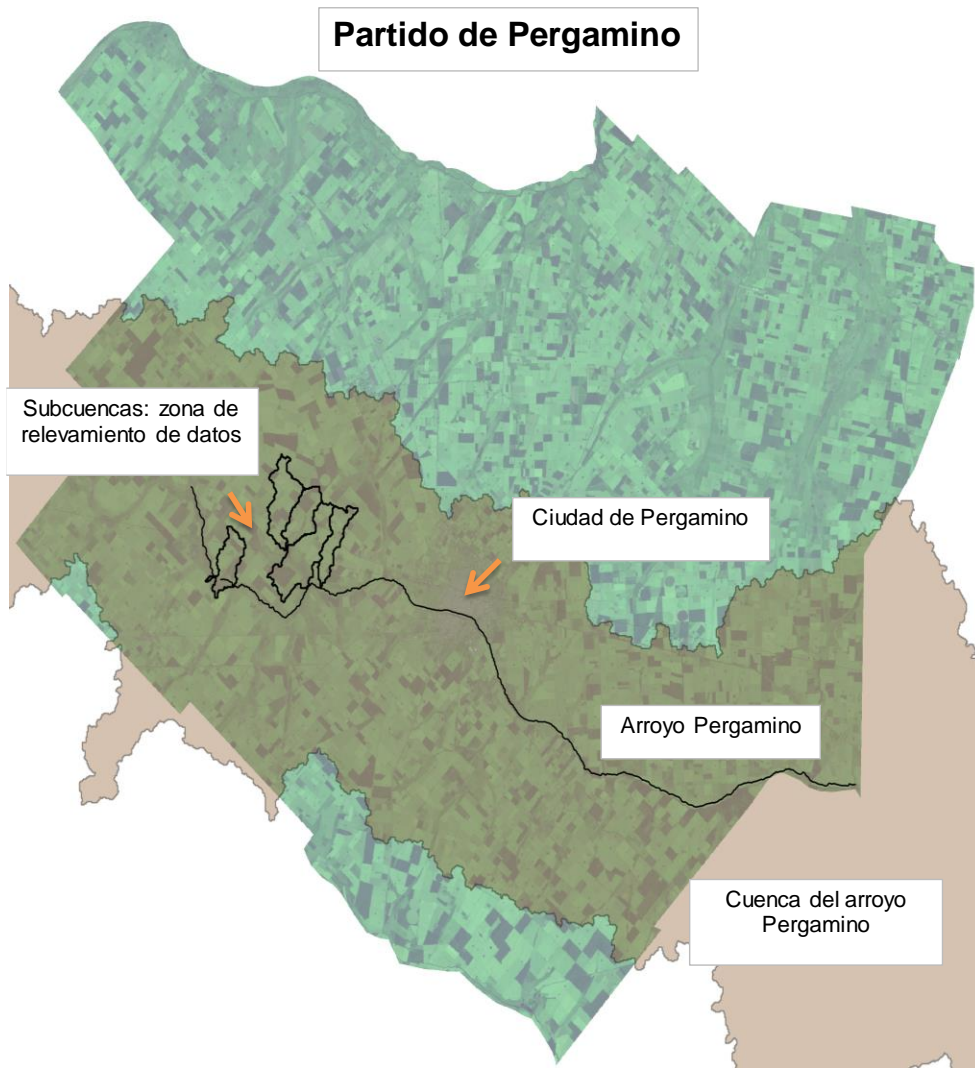


Figura 2. Localización del área de relevamiento de información, cinco subcuencas dentro del partido de Pergamino, Norte de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

En base al uso del suelo agrícola reportado por los responsables de los establecimientos agropecuarios para los lotes dentro de las subcuencas 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 datos de entrada en el modelo de evolución de COS, AMG (Andriulo *et al.*, 1999; Milesi Delaye *et. al*, 2013) (Figura 3).

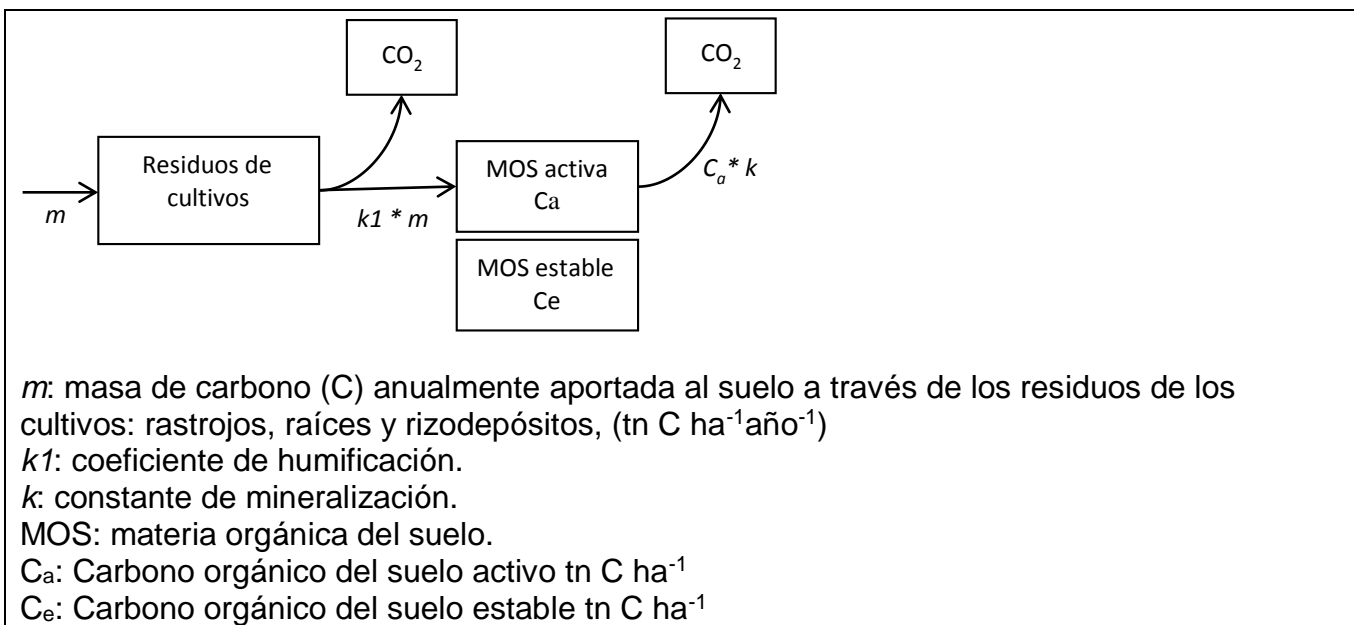


Figura 3. Diagrama del modelo de evolución de carbono orgánico del suelo, AMG

El modelo permite simular la evolución de COS en los primeros 20 cm de profundidad bajo los diferentes manejos y determinar el contenido de COS en el equilibrio de largo plazo. Se determina para cada empresa la pérdida o ganancia en toneladas de COS en el suelo que surge de comparar el contenido de COS en la promedio en la actualidad en la zona de estudio y el estimado en el equilibrio de largo plazo. Se utiliza un valor de COS inicial para la zona de 42,8 tn C ha⁻¹ (2,95% de MO en 20 cm de profundidad), ya que no se dispone de datos para cada uno de los establecimientos encuestados. Este dato de COS corresponde al promedio de los valores obtenidos en 2010 en 14 puntos de muestreo de la misma área de estudio Milesi Delaye *et al.*, (2013).

La masa de C anualmente aportada (m) por los residuos de los cultivos (aérea y subterránea) se calculó teniendo en cuenta: (1) índice de cosecha (IC) (Tabla 1); (2) una relación biomasa radical/biomasa aérea del 30% para todos los cultivos considerados (Bolinder *et al.*, 2007), se considera la biomasa radical incluyendo rizodeposiciones; (3) un contenido de C del 40% de la biomasa vegetal. En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de humificación ($k1$) para cada cultivo según los diferentes sistemas de labranza el cual corresponde a la parte de la biomasa de residuos (m) que pasa a formar parte de la MOS.

Tabla 1. Índices de Cosecha

Cultivo	Índice de Cosecha (IC)	Fuente
Maíz	0,5	Alvarez & Steinbach 2006
Maíz-pop	0,4	Cirilo, com pers 2014.
Soja	0,38	Alvarez & Steinbach 2006.
Trigo	0,34	Alvarez & Steinbach 2006.
Soja°2	0,38	Alvarez & Steinbach 2006.
Cebada	0,34	Bolinder et al., 2007.
Arveja	0,3	Alvarez & Steinbach 2006.
Manzanilla	0,24	Pizad et al., 2011.

Por último para el cálculo de pérdida anual de COS se utilizaron distintos valores del coeficiente de mineralización (k) según el sistema de labranza: 0,07 para siembra directa y 0,11 para labranza convencional este coeficiente afecta a la MOS activa 11,1 tn C ha⁻¹ (25% del COS). (Irizar *et al.*, 2015; Milesi Delaye *et al.* 2013; Andriulo *et al.*, 2012; Arrouays *et al.*, 2002)

Las ecuaciones básicas del modelo son las siguientes

$$C = C_e + C_a \quad \text{Carbono total del suelo (1)}$$

$$\frac{dC_a}{dt} = m \cdot k_1 - k C_a \quad \text{Cambio en el carbono activo del suelo (2)}$$

Considerando m como constante a lo largo del tiempo, estas ecuaciones pueden ser integradas y la evolución de las reservas puede ser descrita por la siguiente ecuación:

$$C = C_e + C_{a_0} \cdot e^{-kt} + \frac{m \cdot k_1}{k} \cdot (1 - e^{-kt}) \quad \text{Carbono total en el tiempo t (3)}$$

$$C_{a_0} = C_0 - C_e \quad (4)$$

donde C_0 es stock inicial de COS (tn C ha⁻¹). En (3), el segundo término representa la descomposición del “C viejo” (i.e. el existente al tiempo 0), mientras que el tercer término representa el C recientemente humificado (neto o total) que se acerca a la asíntota:

$$C_{a_{eq}} = \frac{m \cdot k_1}{k} \quad \text{Carbono activo en el equilibrio (5)}$$

$$C_{eq} = C_{a_{eq}} + C_e \quad \text{Carbono total en el equilibrio (6)}$$

donde $C_{a_{eq}}$ es la máxima cantidad de C originado por la secuencia de cultivo (tn ha⁻¹) y C_{eq} es el stock de COS al equilibrio (tn ha⁻¹).

Finalmente, la tasa de mineralización k depende de la temperatura del suelo (Te) y del contenido de arcilla (A):

$$k = k_0 f_1(Te) f_2(A) \quad (7)$$

donde k_0 es la tasa de mineralización potencial (año^{-1}) en condiciones de referencia y $f_1(Te)$ y $f_2(A)$ son las funciones de temperatura y arcilla (igual a 1 en las condiciones de referencia). Se consideran como condiciones de referencia una temperatura del suelo de 15°C , contenido de arcilla igual a cero y una precipitación media anual de 900 mm.

Con la aplicación de este modelo se obtuvo el nivel de COS en el equilibrio de largo plazo (C_{eq}) y la variación con respecto al nivel inicial.

Con el objetivo de explorar la relación entre las características de las empresas, la diversificación de cultivos y el indicador ambiental de contenido de COS en equilibrio se implementó un análisis de clúster jerárquico (Johnson y Wichern, 2002) para estudiar el agrupamiento de empresas en base a las variables relevadas. Este análisis se llevó a cabo para identificar cómo se agrupan las empresas de acuerdo a la similitud en las variables de interés y sugerir hipótesis para investigaciones futuras.

Luego, en base a la cantidad de toneladas de COS que se pierden o ganan de acuerdo al uso y manejo de la tierra de cada empresa, se estimó la pérdida anual de productividad para el cultivo de soja, utilizando el coeficiente reportado por Bacigaluppo *et al.* (2011) 4 qq por cada 1% de variación en la MOS. Las condiciones ambientales que caracterizan el trabajo mencionado (precipitaciones >180) se asemejan a nuestra área de evaluación ya que en un registro de 28 campañas del régimen de precipitaciones en el partido de Pergamino el 99% de las mismas el mismo es superior a 180mm. Para calcular el costo oculto anual se multiplicó la pérdida anual de productividad por el precio actual de mercado de la soja (junio 2015). Se consideró el precio descontando las retenciones a la exportación, que corresponde al valor que reciben los productores para calcular el costo oculto privado y un precio que incluye las retenciones para calcular el costo oculto para la sociedad.

Por otro lado, se valoró económicamente la externalidad negativa relacionada a la emisión de CO_2 a la atmósfera. Para esto, en base a la cantidad de COS que se pierde o acumula en el suelo se calculó el equivalente en cantidad de CO_2 que se emite o captura de la atmósfera, y se lo multiplicó por la cotización de la tonelada de CO_2 en el mercado de bonos de C.

Se consideraron los precios de permisos de emisiones de CO_2 emitidos por la Unión Europea (European Union Allowances - EUA), dado que es el mercado de mayor importancia en este sector. Dada la alta volatilidad del mercado EUA, para realizar los cálculos, se utilizaron dos niveles de precios que abarcan el intervalo de precios de los últimos 10 años, precio máximo (Junio 2008): 41 u\\$/tn CO_2 (30 €) y precio actual (junio 2015): 8,4 u\\$/tn CO_2 (7,5 €) (Informe Prochile, 2012).

Finalmente, para generar información sobre los resultados económicos privados de sistemas de producción asociados a diferente niveles de COS Se calcularon los márgenes brutos

promedio para tres empresas, una perteneciente a cada grupo determinados por el procedimiento de cluster jerárquico. El margen bruto es la diferencia entre los ingresos (efectivos y no efectivos) generados por una actividad y los costos que le son directamente atribuibles. A partir de datos físicos (tanto de insumos como de productos) y asignándoles un valor económico (precios de mercado) se obtiene una estimación del beneficio económico resultante (Ghida Daza, 2009).

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 3 se presentan las características de las empresas encuestadas. En promedio, la superficie manejada es de 590 ha, incluyendo empresas que manejan desde 30 ha hasta 4000 ha. En promedio un 53% 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 agronómico privado. La tabla muestra también el índice de concentración de HH. El máximo valor (10000) correspondió a empresas que realizaron únicamente soja 1ra en toda la superficie durante los años relevados. Dos de las 19 empresas (empresas 9 y 17) realizaron monocultivo de soja y por lo tanto presentan el máximo valor del índice. La empresa con el menor valor del índice de HH (2800) incluyó en su rotación 4 cultivos en proporciones balanceadas.

La Tabla 4 muestra los valores determinados con el modelo AMG para las distintas rotaciones. El valor de m (cantidad de carbono aportada anualmente por los cultivos) tiene un promedio de $3,99 \text{ tn C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. 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 2da, con alto rendimiento y mínimo de $2,51 \text{ tn C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para un uso de la tierra que incluye un 90% de la tierra asignada a soja de 1ra y maíz pop. Se presentan los niveles de COS en el equilibrio, para manejos de acuerdo a las rotaciones definidas, con los rendimientos declarados. El stock de COS al equilibrio (C_{eq}) promedio al que llegarían las subcuencas en el largo plazo es de $40,6 \text{ tn C ha}^{-1}$ (para los primeros 20 cm de suelo), lo que representa un contenido promedio de MOS de 2,69% (se considera que la MOS posee 58% de CO). El máximo valor de MOS en equilibrio es de 3,10% y el mínimo de 2,48%.

Tabla 3. Características descriptivas de las empresas encuestadas

Empresa	Superficie total ¹	Superficie alquilada	Toma de decisiones profesionalizada	Índice de concentración productiva ²
	-- ha --	-- % --		-- HH --
1	215	100	si	4412
2	60	100	si	3651
3	2500	100	si	6438
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	4286
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		5673

Nota: 1. La superficie total para cada empresa incluye la tierra trabajada dentro y fuera de las subcuencas.

2. El nivel de diversificación se mide en base al índice de concentración de Herfindahl-Hirschman (HH), que se calcula como la sumatoria de los porcentajes al cuadrado de la superficie asignada a cada uno de los cultivos (dentro de las subcuencas).

Se estimó que en promedio se perderán, 2,18 tn ha⁻¹ de C entre la situación promedio en la actualidad y la situación de equilibrio. La magnitud de la pérdida promedio es relativamente baja ya que representa un 5% respecto al contenido inicial estimado (42,8 tn C ha⁻¹), pero es interesante destacar la alta variabilidad entre las empresas. La diferencia entre los valores extremos encontrados, una ganancia de 4 tn C ha⁻¹ y una pérdida de 5,4 tn C ha⁻¹ es del 9,4 tn C ha⁻¹.

Tabla 4. Resultados del modelo de evolución de carbono en el suelo, campos de productores agropecuarios del partido de Pergamino

Empresa	Aporte anual de carbono por los residuos de cultivos	Contenido de carbono en el suelo en el equilibrio de largo plazo	Contenido de carbono en el suelo en el equilibrio de largo plazo	Contenido de materia orgánica en el suelo en el equilibrio de largo plazo	Pérdida/ ganancia de carbono orgánico del suelo ¹	Rotación de cultivos ²
	m	Ceq	Ceq	MOeq	VarCO	
	-- tn ha ⁻¹ año ⁻¹ --	-- tn ha ⁻¹ --	-- % --	-- % --	-- tn ha ⁻¹ --	
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	3,06	38,44	1,48	2,55	-4,36	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	2,51	37,40	1,44	2,48	-5,40	3 S - 1 Mp - 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	3,18	39,36	1,52	2,61	-3,44	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	2,51	37,40	1,44	2,48	-5,40	
Promedio	3,99	40,62	1,57	2,69	-2,18	

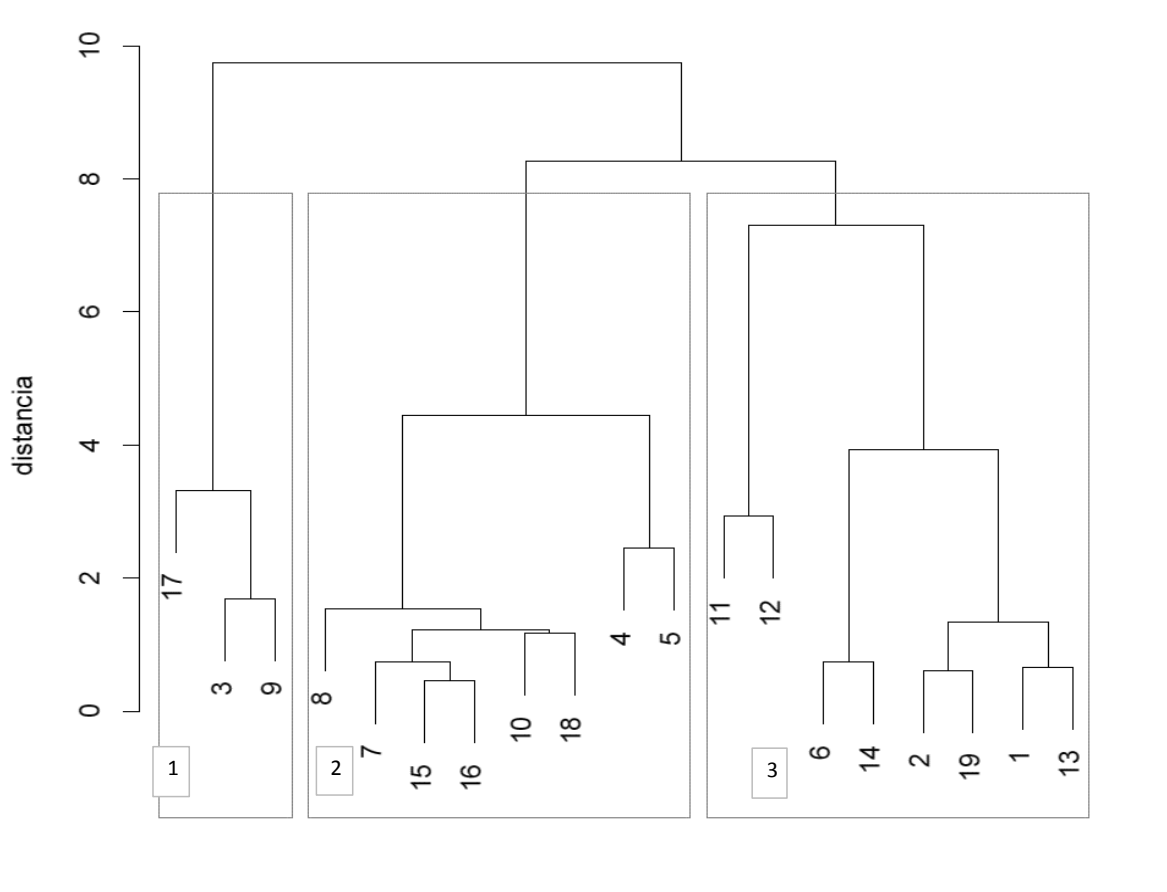
Nota: Los valores de contenidos y porcentajes de carbono y materia orgánica del suelo son para los primeros 20 cm de profundidad.

1. Para calcular la pérdida/ ganancia de carbono orgánico del suelo se utiliza como valor de CO inicial el promedio para la zona de 42,8 tn C ha⁻¹ según determinaciones realizadas en el 2010.

2. M= maíz, Mp= maíz pisingallo, S= soja, T= trigo, Avc= avena cobertura, Ar= arveja, C= cebada, R= raigrás, Manz= Manzanilla. Los valores numéricos para cada cultivo indican la proporción del cultivo en la rotación.

En la Figura 4, se muestra el resultado de la agrupación mediante el procedimiento de *cluster jerárquico*. La misma presenta un diagrama de árbol donde pueden verse como las empresas se agruparon en base a su similitud. La altura a la cual se unen dos grupos indica la distancia entre ellos (a mayor distancia corresponde a una menor similitud). En la parte inferior de la figura se observa que con una mínima distancia se agruparon las empresas 15 y 16. Al ir incrementado los valores de distancia tolerados se unen más empresas formando los grupos. Se definieron tres grupos, compuestos por 3, 8 y 8 empresas cada uno. En un extremo se encuentra el primer grupo formado por las tres empresas de mayor superficie, con un 100% de la tierra alquilada, menor nivel de diversificación productiva y menores contenidos de Ceq. Los responsables de este grupo de empresas fueron los más jóvenes en promedio. Los grupos 2 y 3 mostraron una mayor semejanza entre los mismos, con una superficie manejada, proporción de tierra alquilada y nivel de concentración productiva menores que para el primer grupo. Los responsables en la dirección de los establecimientos presentaron mayor edad. En cuanto al nivel de COS al equilibrio el segundo grupo de empresas presentó

el valor más alto para este indicador. Es interesante notar que este grupo incluyó empresas en las que la tierra es en su totalidad manejada por sus dueños.



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	3	3250	1,00	1,0	9228	2,60	41
2	8	313	0,03	1,0	5801	2,73	53
3	8	245	0,86	0,7	5003	2,68	49

Figura 4. Resultado del agrupamiento de empresas mediante el análisis de clúster jerárquico

A continuación se presentan los resultados de los costos/beneficios asociados a los cambios en la reserva de COS. La Tabla 5 muestra los resultados de la estimación de cambios en la productividad del suelo para el cultivo de soja en base al factor reportado por Bacigaluppo *et al.* (2011). Se estimó un valor máximo de aumento anual de productividad de 1,1 qq/ha, asociado al máximo valor de secuestro de COS. En el otro extremo, el máximo de pérdida anual es de 1,4 qq/ha. En promedio, la variación de la productividad estimada indica una pérdida de rendimiento anual de soja de 0,6 qq/ha.

En el cálculo de la valoración económica de la pérdida de productividad se utilizó el precio de la soja en junio 2015. Se consideró el precio de mercado con y sin las retenciones del 35% para evaluar el costo oculto que recae en el productor y el que recae en la sociedad, considerando una menor recaudación impositiva. Los precios utilizados son de 21 y 29 u\$ q^{-1} , respectivamente. El costo oculto para la empresa con mayor pérdida de COS fue de 30 y 41 u\$ ha^{-1} para los dos niveles de precios evaluados. Para la empresa con el mayor nivel de MOS en equilibrio, se calculó un beneficio económico anual por aumento en la productividad del suelo de 22 y 30 u\$ ha^{-1} . En promedio este costo oculto anual fue de 12,4 u\$ ha^{-1} para el nivel de precios con retenciones y de 16,6 u\$ ha^{-1} para el nivel de precios sin retenciones. Considerando que es razonable asumir que el área estudiada es una situación representativa del partido de Pergamino estos valores expresados para toda la superficie de soja del partido representan un costo oculto anual entre 2 y 3 millones de u\$ para los dos niveles de precios utilizados.

Tabla 5. Costo oculto asociado a la pérdida de productividad del suelo

	Ganancia / Pérdida de materia organica	Variacion de la productividad	Valor economico	
			Precio Soja : 21 u\$ q^{-1}	Precio Soja : 29 u\$ q^{-1}
	-- % 0-20 --	-- qq ha^{-1} --	u\$ ha^{-1} año $^{-1}$	
Máximo	0,27	1,1	22,65	30,58
Mínimo	-0,36	-1,4	-30,60	-41,31
Promedio	-0,14	-0,6	-12,36	-16,69

Partido de Pergamino		193650 ha de soja	
Variacion de la productividad	-- qq ha^{-1} --	Valor economico	
		Precio Soja : 21 u\$ q^{-1}	Precio Soja : 29 u\$ q^{-1}
		u\$ $año^{-1}$	
	-112.089	-2.393.715	-3.231.516

Por último se presentan en los siguientes párrafos los resultados de la externalidad asociada a la captura/emisión de CO₂ de acuerdo a la cantidad de toneladas de COS que se pierden o ganan en cada empresa. La Tabla 6 muestra los resultados de la valoración económica de la pérdida/ganancia de COS. El máximo beneficio económico por captura de C estimado fue de U\$S 124 y 607 para los dos precios de C considerados (8,4 y 41 u\$ tn^{-1}). El costo que correspondió a la máxima pérdida fue de entre U\$S 168 y 820. El valor promedio para las subcuencas fue de U\$S 68 y 331.

Utilizando el mismo criterio que en el cálculo de pérdida de productividad, con una superficie promedio de 193 mil ha de agricultura estos valores se extrapolaron a la superficie agrícola del partido de Pergamino, representando un costo externo de entre U\$S 14 y 72 millones, para los dos niveles de precios de los bonos de C.

Tabla 6. Costo externo asociado a la pérdida de carbono orgánico en suelos agrícolas

	Ganancia/pérdida de carbono del suelo -- tn/ha --	Valor económico -- precio tn CO ₂ : u\$s41	Valor económico -- precio tn CO ₂ : u\$s 8,4 -
Máximo	4,00	607,29	124,42
Mínimo	-5,40	-820,37	-168,08
Promedio	-2,18	-331,39	-67,89

Partido de Pergamino

219887 ha de agricultura

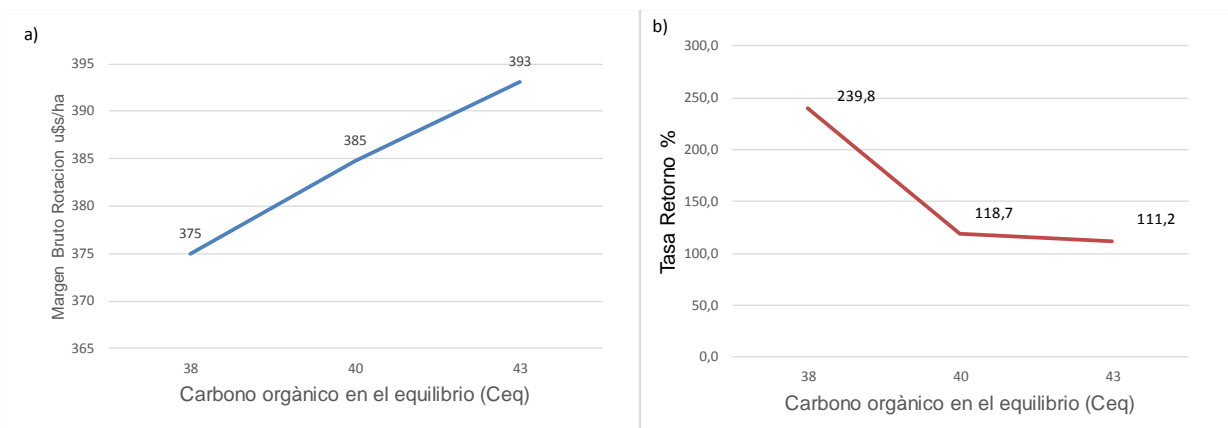
	Ganancia/pérdida de carbono del suelo -- tn --	Valor económico -- precio tn CO ₂ : u\$s41	Valor económico -- precio tn CO ₂ : u\$s 8,4 -
	-479.866	-72.868.506	-14.929.157

Para interpretar las magnitudes de los valores económicos reportados en las Tablas 5 y 6 es importante considerar que los costos/beneficios asociados a cambios en la productividad (Tabla 5) son valores anuales, que surgen de comparar el valor esperado de la producción anual en un suelo con un nivel de referencia vs. el ingreso esperado con un contenido de MOS en el equilibrio de acuerdo al uso de la tierra para cada empresa de las subcuencas. En cambio el costo/beneficio por emisión/captura de carbono es un valor total (no anual), ya que estima el valor económico de la cantidad de CO₂ que se secuestra o emite al pasar de un suelo con un contenido MOS de 2,84% al contenido de equilibrio para cada establecimiento.

Por último, la Figura 5 presenta los valores de indicadores económicos de corto plazo para tres empresas seleccionadas en base a su rotación y su clasificación según el clúster jerárquico, La figura muestra valores crecientes de márgenes brutos para secuencias de cultivos con mayores aportes de carbono orgánico al suelo. Por otro lado una secuencia con bajo aporte de carbono orgánico al suelo genera los mayores valores de tasa de retorno. Los datos que muestra la Figura 5 son observaciones preliminares de un número reducido de empresas que se presentan con el objetivo contribuir a la generación de ideas de hipótesis de trabajo para estudios futuros.

Comparando los resultados obtenidos en este estudio con otros trabajos recientes sobre los costos ambientales de la producción agropecuaria en la región pampeana, puede verse en todos los casos que los autores muestran costos por la pérdida de COS, debido a una alta participación del cultivo de soja en las rotaciones. Zazo *et al.*, (2011) realizaron un estudio

para el partido de Arrecifes (65% de la agricultura corresponde al cultivo de soja) considerando el periodo 1987-2007 e informaron resultados de balances de COS similares a los repostados en el presente estudio, con tendencia general negativa. El trabajo cuantifica una pérdida de 163 mil tn de COS para el partido de Arrecifes para el periodo analizado. En el mismo trabajo se determinó el costo oculto de reponer la pérdida de COS mediante la diferencia en el margen bruto del cultivo de soja (donde existe pérdida de COS) versus el cultivo de maíz (donde existe secuestro de COS) y obtuvieron un costo oculto de 37 u\$s/ha. Trossero *et al.*, 2012 realizaron un estudio en el centro-sur de Santa Fe para el periodo 2010-2020 utilizando una metodología similar a este estudio (modelo de simulación AMG, cálculo de costo externo a partir del valor de los bonos de carbono y el modelo de Bacigalupo *et al.*, (2011) para el cálculo de pérdida de productividad). En este caso partieron de un contenido menor de COS (39 tn ha⁻¹) informaron una disminución de 3 tn ha⁻¹ y una pérdida de productividad de 7,05 qq ha⁻¹ de soja. Milesi Delaye *et al.*, 2013 en el proceso de calibración del modelo AMG para la pampa ondulada reportaron una pérdida estimada del 27% del COS en los últimos 20 años. Para los próximos 30 años el mismo autor llegó a una conclusión que la MOS de esta región se mantendrá estable o disminuirá un 20%. Cabrini *et al.*, 2013 en la misma región de trabajo en base al uso de suelo reportado por productores en el periodo 2006-2007, calcularon la pérdida de productividad en base a coeficientes determinados por Irurtia y Mon, (1996) y estimaron costos ocultos asociados a los balances negativos de COS de 58, 15 y 10 u\$s ha⁻¹ año⁻¹ para los cultivos de soja, maíz y trigo, respectivamente.



Nota: Empresas Seleccionadas
 17) Monocultivo de Soja-2,5% de Materia Orgánica en el equilibrio-Grupo 2 Cluster Jerarquico
 15) Soja-Maiz, 2,7% de Materia Orgánica en el equilibrio, Grupo 1 Cluster Jerarquico
 19) Soja-Maiz-Trigo/Soja, 2,9% de Materia Orgánica en el equilibrio, Grupo 3 Cluster Jerarquico

Figura 5. Indicadores Económicos para Usos de la Tierra que Denominan Distintos Niveles de Carbono Orgánico en el Suelo

4. Conclusiones

En este estudio se valoró la externalidades y costos ocultos asociada a los cambios en la productividad y a la captura/ emisión de COS, considerando el uso y manejo de la tierra y los niveles de rendimientos de 19 establecimientos agropecuarios ubicados en cinco subcuencas de la cuenca del arroyo Pergamino.

Se analizó el agrupamiento natural de las empresas teniendo en cuenta la superficie total manejada, la proporción de tierra alquilada, el grado de profesionalización en la toma de decisiones de la empresa, el grado de diversificación de cultivos que se producen y el nivel de materia orgánica de equilibrio según el uso del suelo declarado. Los resultados del agrupamiento sugieren que el manejo de grandes extensiones y la forma de tenencia bajo alquiler se relacionan con una menor diversificación y usos de suelo que generan menores aportes de carbono.

Se calculó un costo oculto promedio relacionado a cambios en la productividad del suelo entre 12 y 16 u\$/ha valor anual, que surge de comparar el rendimiento esperado por campaña en un suelo con un nivel de referencia de MOS (2,84%) vs. el promedio de largo plazo de acuerdo al uso de la tierra para las subcuencas (2,69%) calculado para dos precios de soja, descontando o no las retenciones a la exportación, que corresponde al valor que reciben los productores para calcular el costo oculto privado y en valor que incluye las retenciones para calcular el costo oculto para la sociedad, respectivamente.

Se determinó un costo externo promedio por emisión de gases con efecto invernadero entre 67 y 331 u\$ tn⁻¹, para dos niveles de precios de la tonelada de CO en el mercado de bonos de carbono (41 y 8,4 u\$ 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.

Si bien la tendencia del estudio es la disminución del contenido de COS y el aumento de los costos asociados el promedio presenta magnitud relativamente baja, también resulta interesante destacar la variabilidad a nivel subcuenca del contenido de COS en el equilibrio y a su vez los balances positivos de COS están relacionados a márgenes brutos relativamente altos.

Este trabajo es un análisis parcial de la sustentabilidad de la producción agropecuaria, siendo parte de una evaluación más amplia que incorpora múltiples criterios ambientales y económicos para caracterizar usos alternativos de la tierra en el partido de Pergamino. Consideramos importante en un análisis global la incorporación de indicadores tales como balances de nutrientes, pérdida de suelo por erosión, índice de contaminación con agroquímicos.

5. Bibliografía

Alvarez, R. y Grigera, S. (2004). "Analysis of Soil Fertility and Management Effects on Yields of Wheat and Corn in the Rolling Pampa of Argentina" **Journal of Agronomy and Crop science**.191: 321-321.

Alvarez, R. y Steinbach, H.S. (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., Mary, B. y Guérif, J. (1999). "Modeling Soil Carbon Dynamics with Various Cropping Sequences On the Rolling Pampas" **Agronomie** 19, 365-377.
- Bacigaluppo, S., Bodrero, M.L., Balzarini, M., Gerster, G.R., Andriani, J.M., Enrico, J.M. y Dardanelli, J.L. (2011). "Main Edaphic and Climatic Variables Explaining Soybean Yield in Argiudolls under No-Tilled Systems" **European Journal of Agronomy**, en prensa.
- Berhongaray, G., Alvarez, R., De Paepe, J. Caride, C. y Cantet R. (2013). "Land use Effects on Soil Carbon in the Argentine Pampas." **Geoderma** 192, 97-102.
- Cabrini, S.M., Calcaterra, C.P. y Lema, D.(2013). "Costos Ambientales y Eficiencia Productiva en la Producción Agraria del Partido de Pergamino." **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**. 20, 27-43.
- Caride, C., Piñeiro, G. y Paruelo, J.M. (2013). "How does Agricultural Management Modify Ecosystem Services in the Argentine Pampas? The Effects on Soil C Dynamics." **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 154, 32-33
- Flores C.C. y Sarandón, J.J (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.
- Irurtia C.B. y Mon, R. (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**.
- 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 Wichern, D.W. (2002). "Clustering, Distance Methods and Ordination" **Chapter 12 in Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice Hall. New Jersey. USA**.
- Kirschbaum, M.U.F (2000). "Will Changes in Soil Organic Carbon Act as a Positive or Negative Feedback on Global Warming?" **Biogeochemistry** 48, 21-51.
- Lal, R. (2013). "Soil Carbon Sequestration." **Solaw Background Tematic Report. FAO**. 36p.
- Mary, B. y Wylleman, R. (2001). "Characterization and Modelling of Organic C and N in Soil in Different Cropping Systems," in **Proceedings of the 11th Nitrogen Workshop**, pp. 251-252, Reims, France.
- Milesi Delaye, L.A., Irizar, A.B., Andriulo, A.E. y Mary, B. (2013). "Effect of Continuous Agriculture of Grassland Soils of the Argentine Rolling Pampa on Soil Organic Carbon and Nitrogen". **Applies Environ Soil Science**. 17 p.
- Post, W.M. y Kwon, K.C (2000). "Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change:

Processes and Potential” **Global Change Biology**. 6, 317–327.

Saffih-hdadj, K. y Mary, B. (2008). “Modeling Consequences of Straw Residues Export on Soil Organic Carbon,” **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 40, no. 3, pp. 594–607.

Sparling, G.P., Wheeler, D., Vasely, E.T. y Schipper, L.A. (2006). “What is Soil organic matter worth” **Journal Environment Quality** 35, 548–557.

Stockmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W., Field, D.J., Henakaarchchi, N. y Jenkins, M. (2013). “The Knowns, Known Unknowns and Unknowns of Sequestration of Soil Organic Carbon”, **Agriculture, Ecosystems and Environment** 164, 80–99.

Trossero, M.E., Cordone, G.E. y Donnet, L. (2012). “¿Cuánto Vale La Pérdida De Carbono Orgánico Del Suelo ?” **INTA Oliveros, Santa Fe**, 7–12.

Tilman, D., Hill, J. y Lehman, C. (2006). “Carbon-Negative Biofuels From Low-Input Highdiversity Grassland Biomass” **Science** 314, 1598–1600.

Viglizzo, E.F., Paruelo, J.M., Littera, P. y Jobbàgy E.G. (2012). “Ecosystem Service Evaluation to Support Land-Use Policy.” **Agriculture, Ecosystems and Environment** 154, 78-84

Zazo, F., Flores C. y Sarandon S.J. (2011). “El Costo Oculto” del Deterioro del Suelo Durante el Proceso de “Sojización” en el Partido de Arrecifes, Argentina” **Revista Brasileira de Agroecologia** 6, 3-20