

El “costo oculto” del deterioro del suelo durante el proceso de “sojización” en el Partido de Arrecifes, Argentina

The “hide cost” of soil degradation because of soybean spreading in Arrecifes, Argentina.

ZAZO, Francisco E^{1.}, FLORES, Claudia C.^{2.}; SARANDON, Santiago J.^{3.}

1 Agroecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. La Plata - Argentina, franciscozazo@yahoo.com.ar; 2 Agroecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. La Plata - Argentina, cflores@agro.unlp.edu.ar; 3. Agroecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. La Plata - Argentina, CIC, Prov. de Bs Aires - Argentina, sarandon@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN : El Partido de Arrecifes, ubicado en la Región Pampeana, ha sufrido un proceso de “sojización” intenso en los últimos 20 años, por la mayor rentabilidad de este cultivo, que podría haber conducido a balances de nutrientes negativos y pérdida de carbono (C) de los suelos. Esta degradación del capital natural, implicaría un “costo oculto” que no ha sido tenido en cuenta. El objetivo de este trabajo fue cuantificar esta degradación del suelo y expresarla en valores físicos y valores monetarios. Los fertilizantes alcanzaron a cubrir solo parcialmente las extracciones de nutrientes realizadas por la soja, maíz y trigo, por lo que los balances de N, P, K, Ca, Mg y S de la Región fueron negativos todos los años. La soja fue responsable del 83%, 89%, 91%, 95%, 75% y 77% de las pérdidas de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente. El balance de carbono fue negativo todos los años para la soja, lo que significó una pérdida de 163.969 t de carbono en el total del período. El costo de reposición de carbono y nutrientes perdidos alcanzó un valor de 286.383.247 US\$, del cual el 87% correspondió al cultivo de soja. Se concluye que el proceso de “sojización” en este Partido, condujo a un deterioro del capital natural de la región, a través de un incremento de las pérdidas de nutrientes y de carbono de los suelos que no fue tenido en cuenta en el análisis costo-beneficio.

PALABRAS CLAVE: agroecosistemas, balance de nutrientes, capital natural, balance de carbono, economía ecológica.

ABSTRACT: “Arrecifes”, located in the Pampas region, has undergone an intense process of soybean production in the last 20 years, due to its higher economic profitability, which could have led to negative balances of nutrients and loss of soil carbon. This degradation of natural capital would involve a “hidden cost” that has not been taken into account when choosing technologies. The aim of this study was to quantify the soil degradation and expressed in physical and monetary values. Fertilizer inputs only partially cover the export of nutrients by soybean, maize and wheat, so the balance of N, P, K, Ca, Mg and S in the region were negative in all years of the period. The soybean crop was responsible for 83%, 89%, 91%, 95%, 75% and 77% of the losses of N, P, K, Ca, Mg and S, respectively. The carbon balance was negative every year for the soybean crop, which meant a loss of 163.969 t of carbon over the entire period. The total cost of replacing lost nutrients and carbon was worth US\$ 286.383.247 of which 87% corresponded to soybeans. It is concluded that the process of soybean production in Arrecifes locality, led to a deterioration of the region's natural capital through increased nutrient losses and soil carbon that was not taken into account in the cost-benefit analysis

KEY WORDS: Agroecosystems, balance of nutrients, natural capital, carbon balance, ecological economics.

Introducción

En los últimos años, se está tomando conciencia de que la “modernización y tecnificación” de los sistemas agrícolas, aunque ha conseguido una alta productividad y una aparente rentabilidad en el corto plazo, está ocasionando un deterioro acelerado de los recursos naturales. Esto se contrapone a la idea, aceptada mundialmente, de alcanzar un desarrollo sostenible donde el crecimiento económico y la conservación del medio ambiente sean compatibles, satisfaciendo las necesidades de esta generación y de las futuras (WCED, 1987).

La principal razón de esta contradicción radica en que la elección de las tecnologías agropecuarias se hace, principalmente, en base a un análisis costo-beneficio, que desconoce el valor del capital natural como proveedor de bienes y servicios esenciales para el mantenimiento de la vida en el planeta (COSTANZA, 1997; DALY, 1997), y asume que los recursos naturales no deben ser amortizados (FLORES & SARANDÓN, 2002). Bajo este análisis, el aumento de la productividad a expensas del deterioro de los recursos naturales se contabiliza como un aumento de los ingresos cuando, en realidad, constituye una pérdida de capital (YURJEVIC, 1993; FLORES & SARANDÓN, 2002; FLORES & SARANDÓN, 2008).

El suelo es reconocido como un componente clave del capital natural (NORTCLIFF, 2002; DOMINATTI et al. 2010; ROBINSON & LEBRON, 2010) que debe ser conservado. Sin embargo, el modelo de agricultura actual conduce, muchas veces, a la pérdida de capacidad productiva de los suelos, señalando su insustentabilidad.

Una de las principales causas de la degradación del suelo es la pérdida de su fertilidad, como consecuencia de balances de nutrientes negativos (ROY et al., 2003). Esto se debe a que el criterio de aplicación de fertilizantes prevaleciente, está basado en la respuesta económica del cultivo (siguiendo la racionalidad

del análisis costo-beneficio) y no en la idea de reponer los nutrientes que han sido extraídos del sistema en la cosecha, para mantener constante el “stock” de nutrientes del suelo (STOORVOGEL, 1992; SMALING & FRESCO, 1993; STOORVOGEL et al., 1993; KONING et al., 1997; JANSEN, 1999; STOORVOGEL, 2000). La Región Pampeana Argentina puede ser considerada un claro ejemplo de esta situación (FLORES & SARANDÓN, 2002).

Durante las últimas décadas esta región sufrió un proceso de transformación en el cual los sistemas mixtos, agrícolas-ganaderos, predominantes hasta la década del '70 (PENGUE, 2001), fueron reemplazados por sistemas agrícolas intensivos. Estos, en un principio, se basaban en la rotación entre tres cultivos: maíz (*Zea mays* L), trigo (*Triticum aestivum* L) y girasol (*Helianthus annuus* L). A partir de la década del '80 se inicia una acelerada expansión del cultivo de soja (*Glycine max* L) y la consolidación de la alternativa de producción trigo-soja en un mismo año agrícola (GHERSA et al., 1998) debido a que este cultivo, es el que mayor beneficio económico presenta por su elevada rentabilidad y por permitir la realización de dos cultivos en un mismo año agrícola (SENIGAGLIESI, 1991; SENIGAGLIESI et al., 1997; SOLBRIG & MORELLO, 1997; CHUDNOVSKY et al., 1999; PENGUE, 2001).

Como consecuencia de este proceso de “sojización”, y dado que la soja es un cultivo muy extractivo de nutrientes, se generaron procesos de degradación y agotamiento que ponen en peligro la sustentabilidad de los sistemas productivos (GARCÍA 2001a; CRUZATE & CASAS, 2003).

Otra consecuencia del proceso de sojización ha sido la disminución en el contenido de materia orgánica de los suelos, ya que la cantidad y calidad del rastrojo de soja, no alcanzan para compensar las pérdidas de carbono edáfico que se producen por mineralización de la misma

(ANDRIULO, 1999; FONTANETTO & KELLER, 2003).

En el Partido de Arrecifes, ubicado en el noreste de la provincia de Buenos Aires, en pleno núcleo de la Región Pampeana, este proceso de sojización ha sido muy intenso. Hasta hace aproximadamente dos décadas, el cultivo predominante era el maíz, que paulatinamente, fue desplazado por el cultivo de soja, que llega a ocupar en la actualidad el 65% de la superficie sembrada. En la primera etapa de su incorporación, el cultivo de soja se llevaba a cabo, en casi todos los casos, sin fertilización de ningún tipo. En los últimos años, se comenzó a fertilizar con fósforo porque se encontró respuesta a estas aplicaciones, pero sin tener en cuenta la reposición de los nutrientes. Esta aplicación de fertilizantes basada sólo en el criterio dosis-respuesta (criterio meramente económico) habría llevado a balances negativos de nutrientes y a la consecuente pérdida de capacidad productiva de los suelos, lo que hace que estos sistemas no puedan ser considerados sustentables. Por otra parte, la acelerada expansión y generalización del cultivo de soja en la Región habría conducido a balances de carbono negativos con la consecuente pérdida de la materia orgánica del suelo y contribución al calentamiento global por emisión de dióxido de carbono. Estos procesos, señalarían que los cambios tecnológicos ocurridos en los últimos 20 años en el Partido de Arrecifes, motivados por la búsqueda de una mayor rentabilidad, medida a través del análisis costo beneficio, habrían conducido, al deterioro del ambiente global y a la pérdida en la capacidad productiva de los suelos. En consecuencia, a una menor sustentabilidad.

Esta degradación del capital natural, implicaría un "costo oculto" que no ha sido tenido en cuenta al calcular los márgenes brutos de los cultivos. Si se incorporaran dichos "costos ocultos" al análisis económico convencional, asignándoles un precio, tal como propone la Economía del Medio

Ambiente, se podría visualizar que los beneficios económicos producidos por la incorporación de este modelo productivo, pueden no ser tales. Esto pondría en evidencia que los beneficios del modelo agrícola actual están sobreestimados y que, aquellas decisiones que aparecen como económicamente racionales pueden ser, muchas veces, ecológicamente insustentables (REES & WACKERNAGEL, 1999) generando externalidades y/o deterioro de los propios recursos productivos.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar algunos aspectos de la degradación del suelo en el Partido de Arrecifes, en las últimas dos décadas, debido a la sojización, a través del cálculo de los balances de los principales macronutrientes y del balance de carbono, expresado en valores físicos y en valores monetarios.

Materiales y métodos

Área de estudio

El Partido de Arrecifes está ubicado en el Noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina (34°4'0"S, 60°7'0"W). Abarca una superficie de 133.000 hectáreas de excelente aptitud agrícola. El mes más cálido es enero con una temperatura media de 23°C y los meses más fríos son junio y julio, con medias de alrededor de 9 a 10 °C. El período libre de heladas varía entre 190 y 260 días por año. Las precipitaciones son de 1.000 mm anuales con períodos de sequía de distinta magnitud e intensidad entre octubre y abril.

El índice de ocupación agrícola del suelo es de aproximadamente el 65% de la superficie total. Los sistemas de producción predominantes en la región son el agrícola puro y el agrícola ganadero bovino (65 y 35% de la superficie utilizable respectivamente). El primero se caracteriza por el uso intensivo del suelo y por la continuidad de cultivos agrícolas; el sistema Agrícola Ganadero, en general, desarrolla la ganadería en los lugares menos aptos para la agricultura, sin entrar en

rotación con el resto del campo.

Los cultivos anuales se realizan en forma continua, sin seguir esquemas preestablecidos de rotaciones. Las secuencias más frecuentes son trigo/soja, soja-maíz ó trigo/soja-soja, llegando a casos extremos en los que se reducen a sólo trigo/soja. Alrededor del 85 % de la superficie implantada se destina a cereales y oleaginosas. Los principales cultivos son soja, trigo y maíz. Las oleaginosas representan alrededor del 65 % del total sembrado.

Los suelos del Partido están compuestos en su gran mayoría por tres series predominantes: Arrecifes (clasificación taxonómica USDA-Soil Taxonomy 2006: Argiudol Acuico, fina, illítica, térmica), Urquiza (Clasificación taxonómica USDA-Soil Taxonomy 2006: Paleudol típico, fina, illítica, térmica) y Arroyo Dulce (Clasificación Taxonómica térmica USDA-Soil Taxonomy 2006: Argiudol típico, fina, illítica), todas ellas de alta aptitud agrícola (capacidad de uso IIe, I-2 y I-1 respectivamente) y un contenido de materia orgánica, en los primeros 30 cm de 2,70; 3,1 y 3, 6 % respectivamente (cartas de suelo-INTA). Los suelos de la serie Arrecifes son muy susceptibles a la erosión hídrica y se hallan erosionados por lo menos en grado ligero.

Cálculo del balance de nutrientes

Para el cálculo del balance de nutrientes se consideró un período de 20 años (1987-2007), teniendo en cuenta que la adopción masiva del cultivo de soja en la zona se produjo en la década

del '90. Se calculó el balance de N, P, K, S, Ca y Mg como la diferencia entre los nutrientes aportados por los fertilizantes y los nutrientes extraídos por la cosecha de los cultivos.

Se realizó el balance en forma anual y el balance total para el período considerado, por cultivo (maíz, trigo y soja) y el total para el Partido.

Cálculo de la extracción de nutrientes por cosecha

Se calculó la extracción de N, P, K, Ca, Mg y S de cada uno de los tres cultivos más importantes (maíz, trigo y soja) para cada año del período, a partir de los datos de superficie cultivada, rendimiento (SAGPyA, 2008) y el porcentaje de extracción de cada nutriente. Se consideraron sólo aquellos nutrientes removidos por los granos como:

Salida total de N, P, K, Ca, Mg y S en el año n para el cultivo x = producción del cultivo x en el año n * tasa de extracción de N, P, K, Ca, Mg y S en el cultivo x.

Salida de N, P, K, Ca, Mg y S ha⁻¹ = Salida total de N, P, K, Ca, Mg y S / superficie cosechada total. La tasa anual de extracción de cada nutriente para cada cultivo se calculó basándose en un promedio de los valores citados por diferentes autores (GARCÍA, 1995; INPOFOS CONO SUR, 1999; VENTIMIGLIA et al., 2000; GALARZA, 2001; FERRARIS, 2001) (Tabla 1). Para el cultivo de soja, la tasa de extracción de nitrógeno se tomó como el 50% del total, considerando que la fijación simbiótica aporta en

Tabla 1: Valores de extracción de N, P, K, Ca, Mg y S (kg. T⁻¹ grano), para maíz, trigo y soja. Valores promedio calculados a partir de los citados por diferentes autores (ver texto)

| | N | P | K | Ca | Mg | S |
|--------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| Maíz | 15 | 3 | 4 | 0,2 | 2 | 1 |
| Trigo | 21 | 4 | 4 | 0,4 | 3 | 2 |
| Soja | 60(*) | 6 | 19 | 3 | 4 | 3 |

(*) Para el cálculo se utilizó el 50%, es decir 30 kg t⁻¹ grano.

promedio, según lo citado por distintos autores (ANDRADE et al., 1996; GARCÍA, 2001b; GONZÁLEZ, 2002) el 50% restante.

Cálculo del aporte de nutrientes por fertilización

Se estimaron las entradas de N, P, K, S, Ca y Mg por la aplicación de fertilizantes a partir de los datos de consumo de fertilizantes a nivel regional de la zona norte de la provincia de Buenos Aires (Comunicación personal con la Agencia de Extensión del INTA Arrecifes y con la Estación Experimental del INTA Pergamino). Los fertilizantes utilizados en el período fueron: urea, fosfato diamónico, cloruro de potasio, sulfato de amonio.

Se calculó la cantidad de cada nutriente por unidad de fertilizante aplicado a partir de la composición química de cada uno de los fertilizantes. Se calculó la entrada total y la entrada ha^{-1} de N, P, K, S, Ca y Mg para cada año considerado como:

Entrada total de N, P, K, S, Ca o Mg = área sembrada total de cada cultivo * % área fertilizada con cada tipo de fertilizante en cada cultivo / 100 * contenido de N (P, K, Ca, Mg y S) en cada fertilizante.

Entrada de N, P, K, S, Ca o Mg ha^{-1} = entrada total de N (P, K, Ca, Mg y S) / área sembrada total.

Cálculo del balance de carbono

Para el cálculo del balance de carbono se utilizaron los coeficientes de mineralización y humificación obtenidos por ANDRIULO (1999) para la zona Norte de la provincia de Buenos Aires basados en el modelo de HENIN-DUPUIS (1945), que describe la evolución de la materia orgánica del suelo reagrupada en el término humus, al que supone homogéneo en su composición.

Se calculó el balance de carbono del cultivo de maíz, de la soja y del doble cultivo trigo/soja, que son las secuencias predominantes. El balance de carbono para el cultivo de maíz se calculó para un

rendimiento promedio de 8 t ha^{-1} , que representa un aporte de 281 kg C ha^{-1} . El balance de carbono para el cultivo de soja se realizó considerando un rendimiento promedio de $3,5 \text{ t ha}^{-1}$, significando un pérdida de 141 kg C ha^{-1} . Para realizar el balance de carbono del cultivo de trigo se consideró que en la zona siempre se realiza doble cultivo, es decir la secuencia trigo/soja de segunda, y el balance se realizó para esta secuencia. Se calculó un rendimiento promedio de $2,7 \text{ t ha}^{-1}$ para trigo y $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ para soja, representando un aporte de $144,62 \text{ kg C ha}^{-1}$.

Se compararon distintas secuencias agrícolas para la serie de años establecida (87-07), estimando los aportes de carbono a través de los rendimientos promedio.

Análisis económico

El valor económico de la pérdida de nutrientes se calculó a través del costo de reposición (por aplicación de fertilizantes) de los nutrientes perdidos. Los fertilizantes considerados fueron urea (N); fosfato diamónico (P); cloruro de potasio (K); sulfato de amonio (S); carbonato de calcio (Ca) y kieserita (Mg). Se utilizaron los precios de los fertilizantes de Junio de 2007. No se tuvo en cuenta el costo del flete ni de la aplicación.

Dado que el carbono no puede reponerse vía fertilizantes el "costo oculto" de la pérdida de carbono de los suelos se calculó a través de secuencias de cultivos que tengan balances positivos y "repongan" carbono. Tal es el caso del maíz.

Se calcularon los años de maíz que deberían realizarse para neutralizar la pérdida de carbono provocada por la soja. Para esto se multiplicó el aporte de C ha^{-1} del maíz (281 kg ha^{-1}), por la cantidad de hectáreas de soja promedio anuales que se cultivaron en el período 87-07. Con esto se obtuvo la cantidad de carbono que aportaría un cultivo de maíz en un año en dicha superficie. Se

dividieron las t totales perdidas por el aporte anual del maíz y se obtuvo la cantidad de años que se deberían cultivar maíz.

Para obtener el valor monetario se calculó la diferencia entre los márgenes brutos del maíz y la soja, utilizando márgenes brutos promedio para la zona (Tabla 2). Se consideró que esa diferencia es el valor monetario por hectárea que se deja de ganar (el costo) por cultivar maíz. Este valor, multiplicado por la cantidad de hectáreas y por los años calculados que se debe cultivar maíz, se consideró como el valor económico total de la pérdida de carbono. El valor económico de la

unidad de carbono (costo de reposición por t de carbono) se obtuvo dividiendo el valor económico total de la pérdida de carbono por la cantidad total de carbono (en t).

Resultados

Balance de Nutrientes

Hasta el año 1990 no hubo aportes de ningún nutriente para los tres cultivos considerados. A partir de la campaña agrícola 1990/91 el aporte de N y P para los cultivos de soja, girasol y maíz fue en aumento (Fig. 1 y 2) y, a partir de la campaña 1999/00 y de la campaña 2002/03, se

Tabla 2: Márgenes brutos (en pesos) promedio de maíz y soja para la zona norte de la provincia de Buenos Aires (Fuente: INTA Pergamino, 2007).

| | Maíz | Soja | Diferencia |
|------------------------|------|------|------------|
| Margen bruto/ha (US\$) | 388 | 458 | 70 |

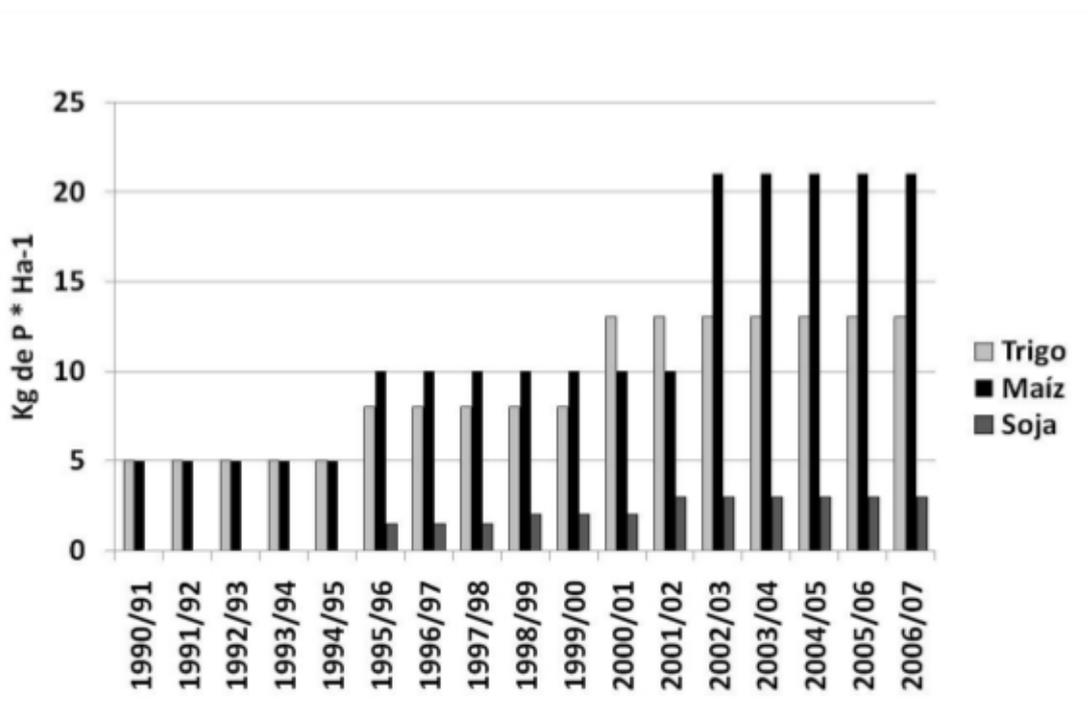


Fig 1: Aporte de N (como fertilizante) para soja, maíz y trigo en el Partido de Arrecifes, Buenos Aires, Argentina, durante el periodo 1990-2007.

El "costo oculto" del deterioro

inició un aporte de S para los cultivos de soja y maíz respectivamente (Fig. 3). El aporte de K, Ca y Mg fue nulo a lo largo del período considerado. Las dosis de

aporte promedio por hectárea para la región no se correspondieron con las tasas de extracción de cada uno de los cultivos. La aplicación de N y P fue

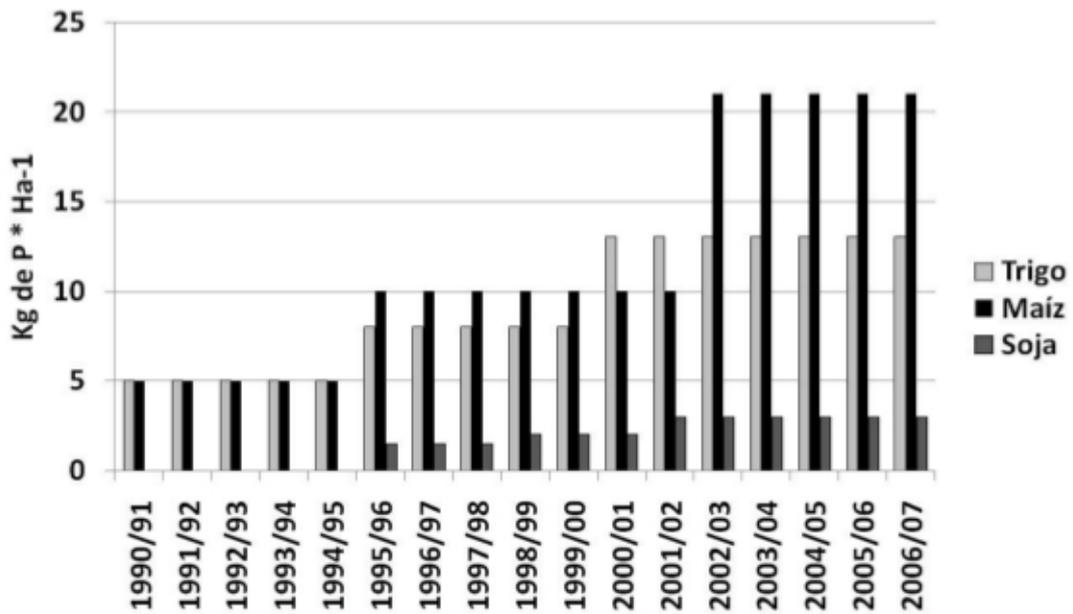


Fig 2: Aporte de P (como fertilizante) para soja, maíz y trigo en el Partido de Arrecifes, Buenos Aires, Argentina durante el periodo 1990-2007.

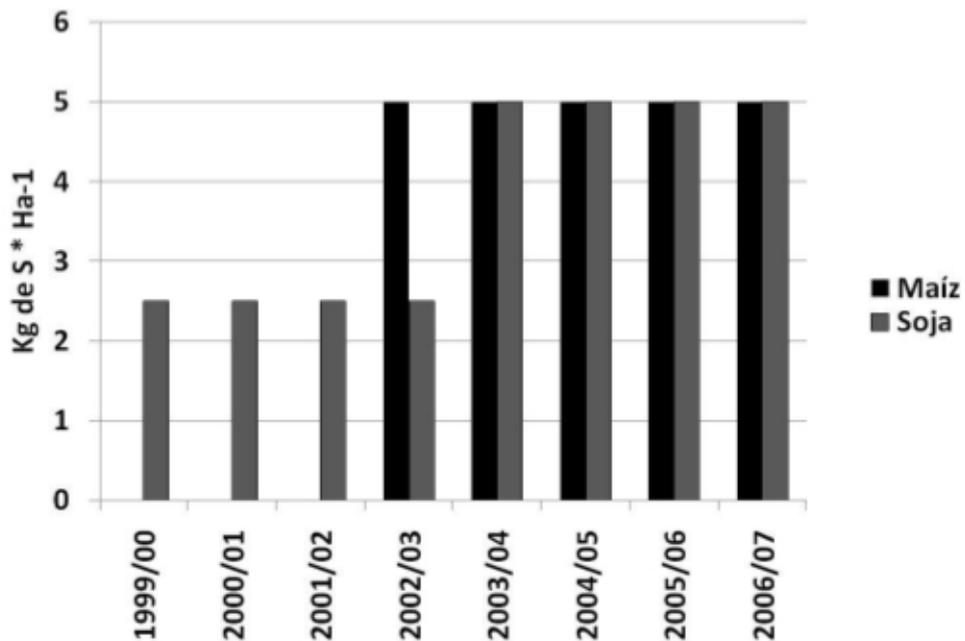


Fig 3: Aporte de S (como fertilizante) para soja, maíz y trigo en el Partido de Arrecifes, Buenos Aires, Argentina, durante el periodo 1990-2007.

destinada, principalmente, a los cultivos de trigo y maíz, mientras que la soja, a pesar de ser un cultivo mucho más extractivo de N y de P que el trigo, recibió un aporte mucho menor de ambos nutrientes (Tabla 3).

Prácticamente en ningún caso, los aportes promedios estimados alcanzaron a cubrir las extracciones de nutrientes realizadas por la soja, maíz y trigo. Por lo tanto, los balances de N, P, K, Ca, Mg y S de la Región fueron negativos para los 3 cultivos en todos los años del periodo. Las mayores pérdidas por hectárea de N, P, K Ca y S fueron provocadas por el cultivo de soja mientras que el trigo fue el cultivo que menos pérdidas ocasionó (Fig. 4).

Como consecuencia de esto, el Partido de Arrecifes perdió en el período 1986-2007 aproximadamente 110.000 t de N; 18.800 t de P; 64.700 t de K; 9.800 t de Ca; 16.400 t de Mg y 9500 t de S. El cultivo de soja fue responsable del

83%, 89%, 91%, 95%, 75% y 77% de las pérdidas de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente.

Las pérdidas totales de nutrientes para la Región fueron en aumento a través de los años analizados (Tabla 4). A pesar del incremento en el uso de fertilizantes, en el período 2001-2007, las pérdidas de N, P, K, Ca, Mg y S fueron un 79%, 132%, 148%, 143%, 102% y 24% superiores respectivamente a las registradas en el período 1986-1991.

En el período 1986-1991, la pérdida de nutrientes alcanzó a 43.829 t. De este total, un 73,6% correspondió al cultivo de soja y el 14,54% y 11,86 % al trigo y maíz respectivamente. En el período 2001-2007 estas pérdidas se incrementaron a 88.340 t de nutrientes. El cultivo de soja fue responsable del 91,56% de esa pérdida mientras que el 3,30% y 5,14% correspondió al trigo y maíz respectivamente.

Las pérdidas de K, Ca y Mg por hectárea

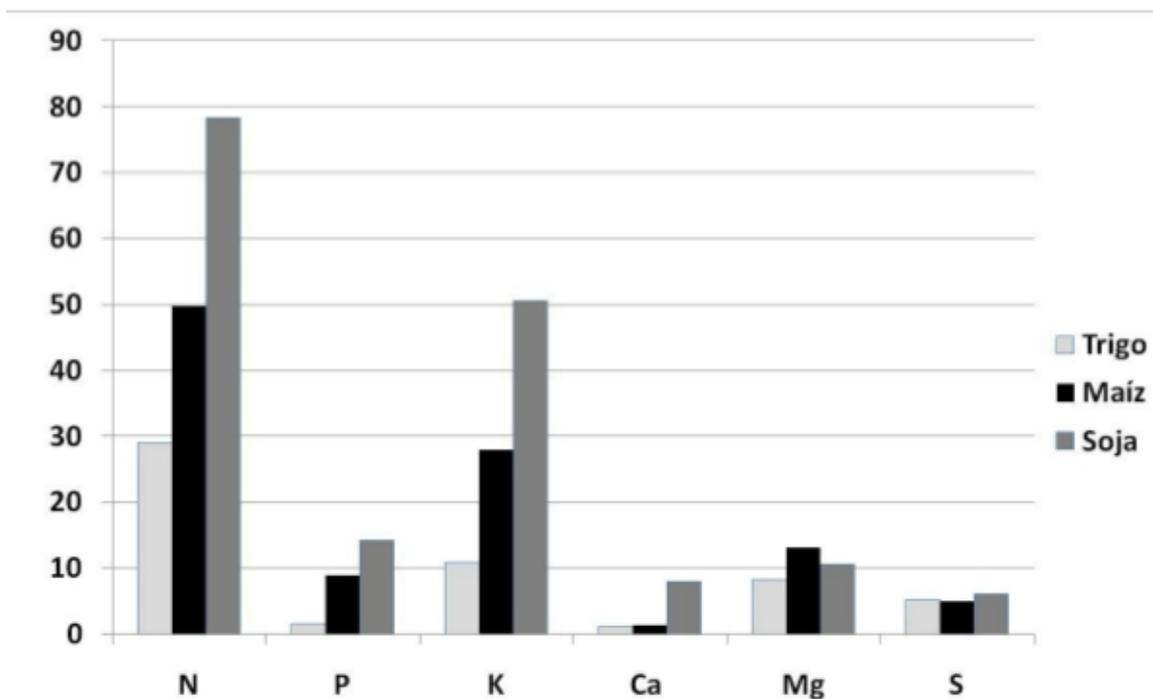


Fig. 4: Pérdida anual promedio de N, P, K, Ca, Mg, S (kg ha^{-1}) durante el periodo 1986-2007 para los cultivos de trigo, maíz y soja en el Partido de Arrecifes, Buenos Aires, Argentina.

El "costo oculto" del deterioro

cultivada con soja, trigo y maíz, sufrieron un incremento a lo largo del período analizado. Lo mismo sucedió con el P en soja y maíz el S en trigo y el N en soja.

En el caso del trigo, las pérdidas promedio de N y P al final de período estudiado fueron menores a las del inicio del mismo, debido al aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados y fosforados (Tabla 5). Lo mismo sucedió para el caso del N en maíz y del S en maíz y soja.

Balance de carbono

El balance de carbono fue negativo todos los años para el cultivo de soja (figura 5). El promedio de pérdida anual fue de 7.808 t, lo que significó

una pérdida de 163.969 t de carbono para el período 1987-2007 en la región.

En cambio, el balance de carbono para el cultivo de maíz y para el trigo, fue positivo en todos los años analizados. Para el maíz el valor promedio anual fue de 2.477 t., con una ganancia neta en el período 1987-2007 de 52.022 t de carbono. Para la secuencia trigo-soja, la ganancia fue de 37.504 t. Esto representa una pérdida neta para la región de 74.413 t de C.

Análisis económico

Costo de reposición de nutrientes

El costo de reposición, a partir de la aplicación de fertilizantes, del total de nutrientes extraídos por

Tabla 3:

- a) Extracción de N, P y K (kg ha^{-1}) y dosis promedio de aporte (como fertilizante) de N, P y K (kg ha^{-1}) para los cultivos de trigo, maíz y soja en el periodo 1986-2007.
- b) Extracción de Ca, Mg y S (kg ha^{-1}) y dosis promedio de aporte (como fertilizante) de Ca, Mg y S (kg ha^{-1}) para los cultivos de trigo, maíz y soja en el periodo 1986-2007.

a)

| | Extracción de N | Extracción de P | Extracción de K | Dosis de N | Dosis de P | Dosis de K |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Trigo | 54,36 | 10,35 | 10,35 | 32,64 | 7,43 | 0 |
| Maíz | 90,49 | 18,09 | 24,13 | 38,81 | 9,52 | 0 |
| Soja | 77,63 | 15,52 | 49,16 | 1,22 | 1,35 | 0 |

b)

| | Extracción de Ca | Extracción de Mg | Extracción de S | Dosis de Ca | Dosis de Mg | Dosis de S |
|-------|------------------|------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|
| Trigo | 1,03 | 7,77 | 5,18 | 0 | 0 | 0 |
| Maíz | 1,20 | 12,06 | 6,03 | 0 | 0 | 1,19 |
| Soja | 77,63 | 15,52 | 49,16 | 0 | 0 | 1,42 |

cosecha en el Partido de Arrecifes en el período 1986-2007 (a precios de junio de 2007), alcanzó un valor de 245.682.861 dólares (Tabla 6). El 84% de ese valor correspondió al costo de reposición de los nutrientes perdidos en el cultivo de soja, el 7,9 % al maíz y el 7,6% para el trigo.

El costo de reposición promedio por hectárea ascendió a 187, 110 y 75 US\$ ha⁻¹ para soja, maíz y trigo respectivamente. Estos valores representaron el 41%, 29% y 26% de los márgenes brutos promedios del período 1987-2007.

Tabla 4: Pérdida de N, P, K, Ca, Mg, S (T) para los cultivos de soja, trigo y maíz durante los períodos 86/87-90/91; 91/92-95/96; 96/97-00/01; 01/02-06/07 y pérdidas totales para el periodo 1986-2007.

| | N | P | K | Ca | Mg | S |
|----------------------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| Período | | | | | | |
| 86/87-90/91 | | | | | | |
| Soja | 15350 | 2070 | 9721 | 1535 | 2047 | 1535 |
| Trigo | 3856 | 704 | 772 | 77 | 579 | 386 |
| Maíz | 3745 | 236 | 372 | 53 | 527 | 264 |
| Período | | | | | | |
| 91/92-95/96 | | | | | | |
| Soja | 16909 | 3311 | 10758 | 1699 | 2265 | 1699 |
| Trigo | 1302 | 142 | 374 | 37 | 381 | 187 |
| Maíz | 2258 | 145 | 546 | 47 | 469 | 234 |
| Período | | | | | | |
| 96/97-00/01 | | | | | | |
| Soja | 20787 | 3733 | 13461 | 2125 | 2834 | 1824 |
| Trigo | 2453 | 199 | 790 | 79 | 593 | 395 |
| Maíz | 1837 | 316 | 878 | 45 | 446 | 223 |
| Período | | | | | | |
| 01/02-06/07 | | | | | | |
| Soja | 38081 | 6630 | 24804 | 3916 | 5222 | 3238 |
| Trigo | 1241 | 53 | 691 | 69 | 518 | 346 |
| Maíz | 1849 | 327 | 1512 | 64 | 643 | 136 |
| Total período | | | | | | |
| Soja | 91128 | 16744 | 58744 | 9275 | 12367 | 7296 |
| Trigo | 8852 | 992 | 2627 | 263 | 1970 | 1313 |
| Maíz | 9689 | 1024 | 3309 | 209 | 2085 | 857 |

Costo de reposición de carbono

El balance de carbono para el cultivo de soja fue negativo en todos los años, significando una pérdida, para el período 1986-2007 de 163.969 t. El balance de carbono para el cultivo de maíz fue positivo, con un aporte de 281 kg de carbono ha⁻¹ equivalente a un aporte total de 15.560 t de carbono por año (para una superficie promedio anual para el cultivo de maíz de 55.376 ha). En consecuencia, para neutralizar la pérdida provocada por la soja, deberían realizarse 10,5 años de cultivo de maíz.

Dado que la diferencia entre los márgenes brutos de soja y maíz es de 70 dólares, el costo de reposición para las 163.969 t de carbono perdidas por el cultivo de soja fue de 40.700.385 dólares (36,75 US\$ ha⁻¹). Este valor representó el 8% del margen bruto promedio para el cultivo de soja. El costo (de reposición) de la t de carbono dio un

valor de 248,22 dólares.

Costo total de reposición

El costo total de reposición de carbono y nutrientes perdidos en el Partido de Arrecifes en el período 1986-2007 alcanzó un valor de 286.383.247 US\$. La pérdida de nutrientes representó la mayor proporción de esa pérdida (86%) (Tabla 7)

El 87% del costo total de reposición correspondió al cultivo de soja, mientras que el maíz y el trigo provocaron el 7% y 6% de esa pérdida respectivamente.

Los valores promedios de reposición de carbono y nutrientes por hectárea para cada cultivo (224 US\$ para soja; 110 US\$ para maíz y 75 US\$ para trigo) equivalieron a el 49%, 28% y 26% de sus márgenes brutos promedio por hectárea respectivamente.

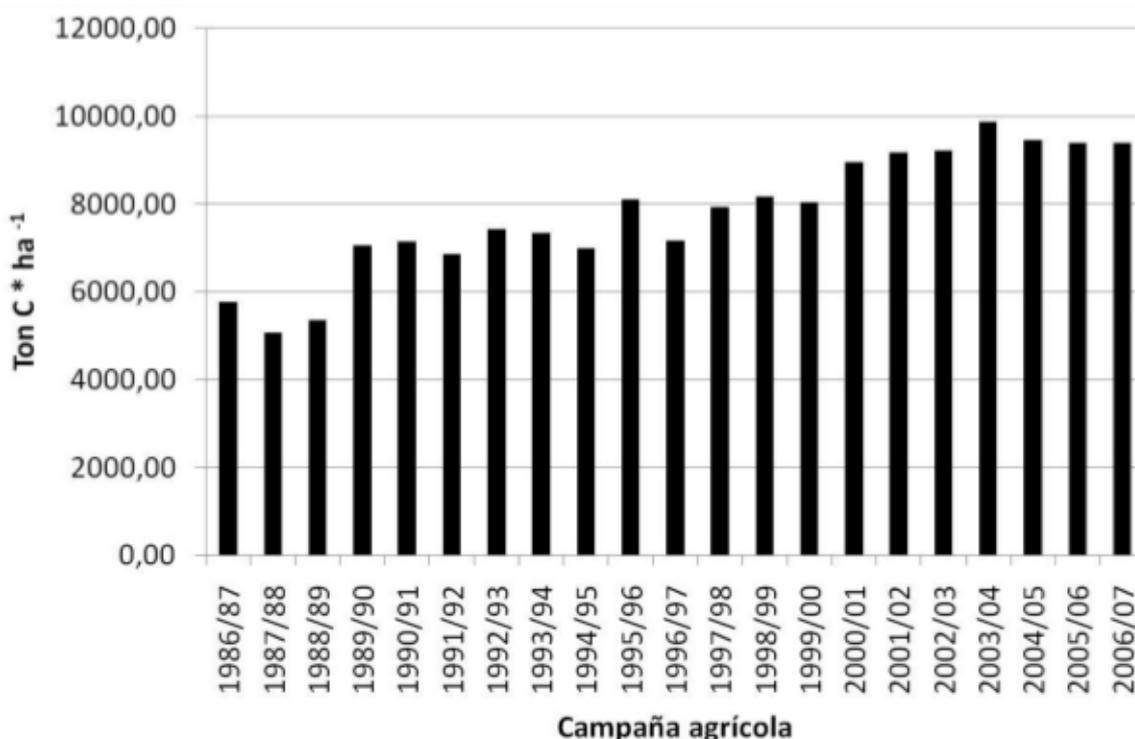


Figura 5: Pérdidas de C en tn/año del cultivo de soja en el período 1987-2007 en el Partido de Arrecifes.

Discusión

El logro de una agricultura sustentable implica desarrollar modelos de manejo de los agroecosistemas que permitan compatibilizar niveles adecuados de productividad (económicamente viable) con la conservación de los recursos (ecológicamente adecuado) de una manera socioculturalmente aceptable. A pesar de la amplia aceptación teórica que tienen estos

conceptos, los cambios en los patrones de uso de la tierra y el avance de los modelos de agricultura no siempre han ido en esta dirección, como ha sucedido en el Partido de Arrecifes. Los resultados de este trabajo señalan que el proceso de "sojización" producido en este Partido, condujo a un deterioro del capital natural de la región, a través de un incremento de las pérdidas de nutrientes y de carbono de los suelos. Dichas

Tabla 5: Pérdida promedio de nutrientes ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) para soja, trigo y maíz en la década del '70, '80 y '90 y para el total del período 1970-1999.

| | N | P | K | Ca | Mg | S |
|--------------------|-------|-------|--------|------|-------|------|
| Período | | | | | | |
| 86/87-90/91 | | | | | | |
| Soja | 70,13 | 14,02 | 44,42 | 7,01 | 9,35 | 7,01 |
| Trigo | 41,04 | 7,37 | 8,37 | 0,83 | 6,27 | 4,8 |
| Maiz | 58,36 | 4,30 | 7,06 | 0,84 | 8,43 | 4,21 |
| Período | | | | | | |
| 91/92-95/96 | | | | | | |
| Soja | 64,96 | 12,75 | 41,32 | 6,52 | 8,69 | 6,52 |
| Trigo | 33,11 | 3,76 | 9,36 | 0,93 | 7,02 | 4,68 |
| Maiz | 49,89 | 3,37 | 12,50 | 1,04 | 10,44 | 5,21 |
| Período | | | | | | |
| 96/97-00/01 | | | | | | |
| Soja | 71,87 | 12,9 | 46,550 | 7,5 | 9,80 | 6,35 |
| Trigo | 35,15 | 2,67 | 11,67 | 1,17 | 8,75 | 5,83 |
| Maiz | 52,91 | 11,96 | 29,28 | 1,29 | 12,92 | 6,46 |
| Período | | | | | | |
| 01/02-06/07 | | | | | | |
| Soja | 94,96 | 16,53 | 61,85 | 9,76 | 13,02 | 5,60 |
| Trigo | 19,95 | 1,25 | 11,74 | 1,17 | 8,81 | 5,87 |
| Maiz | 46,58 | 11,06 | 40,31 | 1,57 | 15,73 | 3,70 |

El “costo oculto” del deterioro

pérdidas fueron consecuencia del aumento en la superficie cultivada con soja bajo un modelo productivista y cortoplacista, con bajísimos aportes de fertilizantes y ausencia de rotaciones con otros cultivos que aporten carbono al suelo.

La mayor rentabilidad aparente del cultivo de soja, que condujo a un acelerado proceso de “sojización” en la región, ha enmascarado un costo importante de degradación del capital natural. Las pérdidas alcanzaron valores de 228.745 t de nutrientes y 74.413 t de carbono total y 163.969 t de carbono para la soja en el período considerado. El valor (teórico) de este deterioro, estimado como costo de reposición, ascendería a 286.383.247 de US\$. Este es el dinero que habría que poner, para poder volver a la situación inicial.

A pesar de que la fertilización aumentó en el

tiempo, no alcanzó a compensar la extracción realizada por los cultivos. Este desbalance ha sido citado para la Región Pampeana en general (BERTOLASI, 1996; GARCÍA, 2000; CASAS, 2001; FLORES & SARANDÓN, 2002; DARWICH, 2003), para algunas regiones de Argentina en particular (FLORES & SARANDÓN, 2008) o para otras regiones del mundo (SMALING & FRESCO, 1993; STORVOGEL, 1993; KONING et al., 1997; BRINDABRAN et al., 2000), señalando un modelo insustentable de manejo de nutrientes. Argentina ha sido señalado como uno de los países con mayores pérdidas de los principales nutrientes (N, P y K) en el mundo, sólo superado por Belice (CRITCHLEY et al., 2008), lo que pone en duda las ventajas o conveniencia de este modelo productivista de manejo de los agroecosistemas.

Tabla 6: Costo de reposición (en miles de dólares estadounidenses) de los nutrientes perdidos por cultivo y totales en el período 1987-2007 en el Partido de Arrecifes. Buenos Aires. Argentina.

| | N | P | K | Ca | Mg | S | Total por cultivo |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|----------------|-------------------|
| Trigo | 6.955,5 | 2608,6 | 2562,5 | 19,7 | 3875,6 | 2626,8 | 18.648,6 |
| Maiz | 7659,3 | 2690,8 | 3227,6 | 15,6 | 4101,6 | 1713,5 | 19.408,5 |
| Soja | 66725,9 | 43978,6 | 57305,6 | 695,6 | 24328,9 | 14591,0 | 207.625,7 |
| Total por fertilizante | 81340,6 | 43978,6 | 57305,6 | 695,6 | 24328,9 | 14591,0 | |

Tabla 7: Costo total de reposición (en US\$) de carbono y nutrientes para los cultivos de soja, maíz y trigo y totales para el Partido de Arrecifes, Buenos Aires, Argentina en el período 1987-2007.

| Costo reposición | Soja | Maiz | Trigo | Total |
|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Carbono | 40.700.385 | | | 40.700.385 |
| Nutrientes | 207.625.761 | 19.408.477 | 18.648.624 | 245.682.862 |
| Total | 248.326.146 | 19.408.477 | 18.648.624 | 286.383.247 |
| Porcentaje | 87 | 7 | 6 | 100 |

En el caso del Partido de Arrecifes, el cultivo de soja fue el responsable del 85% de la pérdida de nutrientes. Sin embargo, fue el que menor fertilización recibió, principalmente de nitrógeno, probablemente por su baja respuesta al agregado de nutrientes y por la creencia, usada para promover la difusión del cultivo (PIZARRO, 1973) y sostenida posteriormente por algunos autores (CHUDNOVSKY et al., 1999) de que, por su condición de leguminosa, es un cultivo recuperador de la fertilidad nitrogenada. A su vez, el incremento constante de la superficie cultivada con soja provocó la pérdida de carbono a nivel regional, dado que la soja desplazó al cultivo de maíz que aportaba carbono en el anterior esquema de rotaciones agrícolas (ANDRIULO, 1999). Esto corrobora que el criterio de selección de tecnologías y modelos productivos basados en análisis costo-beneficio enmascara el costo de la degradación del capital natural puesto en evidencia, en este caso, por la pérdida de la capacidad productiva del suelo.

Si se considera que uno de los requisitos básicos para el logro de la sustentabilidad es el mantenimiento de dicho capital natural (HARTE, 1995) y que el suelo es uno de los componentes clave que debe ser preservado (NORTCLIFF, 2002; DOMINATTI et al. 2010; ROBINSON & LEBRON, 2010) los resultados obtenidos señalan la insustentabilidad del modelo de agricultura adoptada en el Partido de Arrecifes. La pérdida de carbono de los suelos debida a la sojización del Partido de Arrecifes puede ser analizada desde dos perspectivas o a dos niveles: global y local. Desde el punto de vista global, significa una contribución al calentamiento de la atmósfera a través de la emisión de gases del efecto invernadero, como el dióxido de carbono. Por el otro, y, tal vez, más grave, la pérdida de carbono tiene un efecto local al disminuir la materia orgánica y, por lo tanto, la calidad de los suelos y

su capacidad productiva. Aunque la emisión de dióxido de carbono puede ser mitigado por la compra de bonos de carbono que certifiquen que, en algún otro lugar del planeta, se ha fijado una cantidad de carbono equivalente (manteniendo en cero la emisión global), esto no es válido para el deterioro del suelo, que no puede ser compensado por la acumulación de carbono en algún otro lado.

Por otro lado, el "valor" de esta externalidad es incierto. El precio de la t de carbono, calculada en este trabajo (248 US\$ la t) como el costo de reponer el carbono perdido a través de la siembra del cultivo de maíz (balance positivo), resultó muy superior a la cotización actual del bono de carbono (50 US\$ la t, al 2/11/2010) señalando la dificultad de asignar precios correctos al deterioro ambiental. Lo mismo ha sido señalado para Entre Ríos por Vicente et al. (2008), quienes encontraron que el costo de la t de carbono calculado por ellos, fue también superior a la cotización internacional del bono de carbono.

Estos problemas de pérdida del capital natural, quedaron ocultos por los resultados positivos del análisis costo beneficio. Esto pone de manifiesto el divorcio existente entre la racionalidad económica neoclásica adoptada para la elección de alternativas productivas y la posibilidad de sustentar los sistemas desde el punto de vista del mantenimiento de la capacidad productiva del suelo (FLORES & SARANDÓN, 2002; 2008).

Las decisiones basadas en un análisis costo-beneficio, no tienen en cuenta el "costo oculto" que tiene la pérdida de este capital natural porque sólo considera aquellos beneficios y costos que pueden ser expresados en unidades monetarias, lo que conlleva a que la escasez biofísica de los recursos quede pobremente reflejada (REES & WAKERNAGEL, 1999) permitiendo un crecimiento de la economía a expensas del consumo incontrolado de recursos naturales (PNUMA & FB, 1996).

Los resultados presentados han hecho visible un “costo oculto” asociado a estos procesos de degradación del suelo para el Partido de Arrecifes, que representaron un 49%, 28% y 26% de los márgenes brutos promedio por hectárea de los cultivos de soja, maíz y trigo respectivamente. Aun siendo importantes, estos valores subestiman claramente el verdadero costo, ya que este aumentaría sensiblemente si se incluyera el costo de acarreo y aplicación de los fertilizantes, la eficiencia de aprovechamiento de los mismos por parte de los cultivos y sus pérdidas por otras vías (i.e. erosión, lixiviación). Asimismo, es necesario tener en cuenta que la pérdida de nutrientes y de carbono es sólo una de las consecuencias del modelo actual. No se han incluido, por ejemplo, los costos de los efectos negativos causados sobre la biodiversidad local y regional, cuya pluralidad de valores difícilmente pueden ser representados por valores monetarios (SWIFT et al., 2004). Tampoco se han incluido los costos por deterioro de la estructura o pérdida de vida del suelo o el aumento de los riesgos por contaminación que se ocasionan por el incremento del uso agroquímicos en la producción (fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas) (PENGUE, 2010).

Esto lleva a considerar que si se lograran internalizar todos los costos asociados al deterioro de los recursos intra y extrapediales provocados por el proceso de sojización en el Partido de Arrecifes, los valores de rentabilidad decrecerían aún más, pudiendo llegar a niveles similares a los calculados por Pretty et al. (2000) para la agricultura del Reino Unido y podrían modificar las relaciones de rentabilidad entre el modelo de agricultura continua y otros modelos alternativos, hoy dejados de lado por su aparente “baja rentabilidad”.

La “sojización” del Partido de Arrecifes fue, entre otros factores, provocada por la mayor rentabilidad, el mayor margen bruto de la soja (458

US\$ ha⁻¹) respecto al maíz (388 US\$ ha⁻¹). Sin embargo, si se recalculan los márgenes brutos de los cultivos de maíz y soja incorporando los costos ocultos aquí obtenidos para la zona de Arrecifes, el maíz se convierte en un cultivo económicamente más conveniente (293 US\$ ha⁻¹) que la soja (242 US\$ ha⁻¹). Resulta evidente que, debido a sus limitaciones, el análisis costo beneficio no permite la comparación “racional” entre distintos modelos productivos, subvalorando los costos ecológicos del proceso de sojización.

La metodología de internalización de las externalidades, usada en este trabajo, hace un aporte importante al poner en evidencia la falta de solidez del análisis costo-beneficio convencional para evaluar alternativas productivas desde el punto de vista de la sustentabilidad. Sin embargo, al utilizar el precio como única variable de referencia, no fomenta el logro de una mejor calidad del medio ambiente ya que, cuando las externalidades son inciertas y/o irreversibles, no puede haber precios correctos practicados en mercados reales o ficticios (FUNTOWICZ et al., 1999). Así, por ejemplo, el modelo utilizado de medición de la pérdida de nutrientes y carbono no incluye, en su evaluación de costos, a los efectos negativos que se producen por la alteración de los ciclos y las dinámicas particulares de cada nutriente y de la materia orgánica.

En este sentido, es necesario tener en cuenta que el costo de reposición calculado no indica realmente el daño producido, dado que si se contara con el dinero para reparar el problema generado, existe una clara imposibilidad física de restituir la fertilidad del suelo y de materia orgánica a los niveles originales, al menos en forma inmediata. Ni la aplicación de las cantidades de fertilizantes calculadas para obtener el costo de reposición, ni el monocultivo de maíz en reemplazo del de soja para reponer carbono, pueden ser consideradas alternativas viables para

asegurar la sustentabilidad del sistema.

Esto confirma que la solución no consiste en introducir los problemas ecológicos dentro de la economía (economizar la ecología), como propone la economía del medio ambiente, sino en reconocer que la economía debe ser considerada dentro de los límites de las reglas ecológicas (FLORES & SARANDÓN, 2003). Dado que la sustentabilidad es un concepto que incluye, simultáneamente, objetivos económicos y ecológicos, se debe comprender que, en teoría, ambos objetivos no son contrapuestos. Esta contraposición surge de la forma actual de encarar la economía.

Por lo tanto, para avanzar en el logro de sistemas sustentables, que superen las limitaciones del actual análisis costo beneficio, debe romperse con la visión cortoplacista predominante que caracteriza las decisiones técnicas adoptadas en los sistemas agropecuarios, para avanzar en decisiones basadas en una visión holística de los procesos que ocurren en el agroecosistema (SARANDÓN, 2002).

Conclusión

Los cambios tecnológicos ocurridos en los últimos 20 años en el Partido de Arrecifes, motivados por la búsqueda de una mayor rentabilidad, medida a través del análisis costo beneficio, condujeron a una pérdida en la capacidad productiva de los suelos. Esta pérdida de capital natural implicó un importante "costo oculto" que no ha sido tenido en cuenta en los análisis de rentabilidad efectuados.

Bibliografía

- ANDRADE F. et al. **Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja**. Boletín técnico 134. EEA INTA Balcarce. 17pp. 1996.
- ANDRIULO, A.. **Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the**

rolling pampas Disponible en: http://www.agronomyjournal.org/index.php?option=article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/agro/pdf/1999/05/Agronomie_02495627_1999_19_5_ART0004.pdf. 1999.

BERTOLASI, R. Aumento del consumo de fertilizantes. *Fertilizar* 2:14-15. INTA Pergamino. Argentina. 1996.

CASAS, R.R. La Conservación de los suelos y la sustentabilidad de los Sistemas Agropecuarios. *Disertación*. Disponible en: http://www.insuelos.org.ar/institucional/disertacion_R_Casas.htm. 2001.

CHUDNOSVSKY, D. et al.. **Comercio internacional y desarrollo sustentable. La expansión de las exportaciones argentinas en los años 1990 y sus consecuencias ambientales**. Capítulo III: El impacto ambiental de la intensificación de la producción agropecuaria pampeana. Disponible en <http://www.fund-cenit.org.ar/documentos>. 1999.

COSTANZA, R. La economía ecológica de la sostenibilidad. Invertir en capital natural. En: **Medio ambiente y desarrollo sostenible. Mas allá del informe Brundtland**. Editorial Trotta. 103-114. 1997.

CRITCHLEY, W. et al.. Conserving land-protecting water (Conservar la tierra – proteger el agua). En: **Evaluación exhaustiva del manejo del Agua en Agricultura. Agua para la Alimentación, Agua para la Vida**. Londres: Earthscan y Colombo: Instituto Internacional del Manejo del Agua. Cap 15: 551-583. 2008.

CRUZATE G.A.; CASAS, R. **Balance de nutrientes. Fertilizar. Divulgación técnica sobre el uso de fertilizantes y enmiendas**. Año 8. Número especial sostenibilidad. INTA (Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria): 7-13. 2003.

DALY, H. De la economía del mundo vacío a la economía del mundo lleno. El reconocimiento de un viraje histórico en el desarrollo económico. En: **Medio ambiente y desarrollo sostenible. Mas allá del informe Brundtland**. Editorial Trotta: 37-50. 1997.

DARWICH, N. **El balance físico económico en la rotaciones Agrícolas. Proyecto fertilizar**. INTA. Disponible en www.fertilizar.org.ar. 2003.

DOMINATI, E. et al.. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecological Economics** 69: 1858-1868. 2010.

- FERRARIS, G.N. **Nutrición. La cosecha que se lleva el carretón del lote. Nutrientes absorbidos por los cultivos pampeanos. Proyecto Fertilizar.** Disponible en <http://www.fertilizar.org.ar/articulos.2001>.
- FLORES, C.C. ; SARANDÓN S.J. ¿Racionalidad económica versus 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 Nacional de La Plata. V. 105 (1): 52-67. 2002.
- FLORES C.C.; SARANDÓN S.J. ¿Pueden los cambios tecnológicos basados en el análisis costo-beneficio cumplir con las metas de la sustentabilidad? Análisis de un caso de la Región de Tres Arroyos. Argentina. **Revista Brasileira de Agroecología.** 3 (3): 55-66. Disponible en: <http://www6.ufrgs.br/seeragroecologia/ojs/>.2008.
- FONTANETTO, H. ; KELLER O. Consumo y manejo de nutrientes de las rotaciones de cultivos. **11avo Congreso de AAPRESID.** Rosario. 2003.
- FUNTOWICZ, S.O. et al.. Information tools for environmental policy under conditions of complexity. European Environment Agency. **Environmental issues series** No 9. 34pp. 1999.
- GALARZA, C. et al.. **Fertilización del cultivo de soja. Soja: Resultados de Ensayos de la Campaña 2000/2002** Información para Extensión N0 69. Tomo 2. INTA, Marcos Juárez. 2001.
- GARCÍA, F. O. **Boletín informativo de Nidera SA.** Número 2. Año 1. Disponible en <http://www.nidera.com.ar/esp/rindes/2/reportaje.htm>. 1995.
- GARCÍA, F.O. **Avances en investigación y experimentación en fertilización de cultivos extensivos en Argentina.** Tercera Conferencia Fertilizantes Cono Sur. Punta del Este. Uruguay: 26-28. Disponible en: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/garcia/avances%20en%20fertilizacion%20en%20cultivos%20extensivos.asp>, 2000
- GARCÍA, F.O. Balance de fósforo en los suelos de la Región Pampeana. INPOFOS Cono Sur. Buenos Aires. **Informaciones Agronómicas** 9:1-3. 2001a.
- García F.O. **Balance y manejo de nutrientes en rotaciones agrícolas.** Publicación técnica AAPRESID. Rotación de cultivos en siembra directa: 59-68. 2001b.
- GHERSA C. et al.. **Cambios en el paisaje pampeano y sus efectos sobre los sistemas de soporte de la vida. En: Hacia una agricultura productiva y sostenible en la pampa.** Orientación Gráfica Editora. Argentina. Capítulo 3: 38-68. 1998.
- González N. **Fijación biológica de nitrógeno en soja. Cómo elegir el mejor inoculante comercial.** Disponible en www.elsitioagricola.com/articulos/gonzalez Último acceso: Julio 2002
- INPOFOS Cono Sur (Oficina Regional para el Cono Sur del Potash & Phosphate Institute y el Potash and Phosphate Institute of Canada). **Planilla de cálculo para estimar requerimientos nutricionales de cultivos de grano y forrajeros.** Disponible en: [http://www.ppifar.org/ppiweb/ltams.nsf/\\$webinde/x/](http://www.ppifar.org/ppiweb/ltams.nsf/$webinde/x/). 1999.
- JANSEN, B.H. Basic of Budgets, buffers and balances of nutrients in relation to sustainability of agroecosystems. In: Smaling E.M.A.; Oenema O., Fresco L.O. (eds). **Nutrient disequilibria in Agroecosystems. Concepts and Case Studies.** CABI publishing. Cambridge. Chapter 2: 27-55. 1999.
- KONING, G.H.J et al.. Estimates of sub- national nutrient balances as sustainability indicators for agro-ecosystems in Ecuador. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 65: 127-139. 1997.
- NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment.**88:161-168. 2002.
- PENGUE, W. **Impactos de la expansión de la soja en la Argentina. Globalización, desarrollo agropecuario e ingeniería genética: Un modelo para armar. Biodiversidad** 29: 7-14. 2001.
- PRETTY J.N. et al.. An assessment of the total external cost of UK agriculture. **Agricultural Systems** 65:113-136. 2000.
- PIZARRO, J.B. **Rentabilidad de la soja frente a cultivos competitivos en el área maicera tradicional.** INTA. Informe técnico 121. 15 pp. 1973.
- PNUMA & FB (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente and Fundación Bariloche). **Manual de cuentas patrimoniales.** México. 74 pp. 1996.

- REES, W.E.; WAKERNAGEL, M. Monetary análisis: turning a blind eye on sustainability. **Ecological Economics** 29: 47-52. 1999
- ROBINSON, D; LEBRON, I. On the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecological economics** (in press). doi:10.1016/j.ecolecon.2003.10.017. 2010.
- ROY, R. N et al.. **Assessment of soil nutrient balance. Approaches and methodologies.** FAO fertilizers and plant nutrition bulletin 14. Rome. 87 pp. 2003.
- SARANDÓN, S.J. Incorporando el enfoque agroecológico en las Instituciones de Educación Agrícola Superior: la formación de profesionales para una agricultura sustentable. **Agroecología e desenvolvimiento rural sustentable** 3 (2):40-48. 2002.
- SENIGAGLIESI, C. **Estado actual y manejo de los recursos naturales, particularmente el suelo, en el sector norte de la Pampa húmeda. Seminario Juicio a nuestra agricultura. Hacia el desarrollo de una agricultura sostenible.** Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Edit. Hemisferio Sur. Argentina: 31-49. 1991.
- SENIGAGLIESI, C. et al.. **La degradación de los suelos en el Partido de Pergamino En: Argentina granero del mundo ¿Hasta cuándo?** Jorge Morello y Otto T Solbrig (compiladores). Ed. Orientación Gráfica Editora SRL. Argentina: 137-155. 1997.
- SMALING, E.M.A. ; FRESCO, L.O. A decision-support model for monitoring nutrient balances under agricultural land use (NUTMON). **Geoderma** 60: 235-256. 1993.
- SOLBRIG O.T. ; MORELLO, J. **Reflexiones generales sobre el deterioro de la capacidad productiva de la Pampa Húmeda Argentina. En: Argentina granero del mundo ¿Hasta cuándo?** Jorge Morello y Otto T Solbrig (compiladores). Ed. Orientación Gráfica Editora SRL. Argentina: 1-28. 1997.
- STOORVOGEL, J.J. Optimising land use distribution to minimize nutrient depletion: a case study for the Atlantic Zone of Costa Rica. **Geoderma** 60: 277-292. 1992.
- STOORVOGEL, J.J. et al.. Calculating soil nutrient balance at different scales. I. Supra national scale. **Fertilizer research** 36: 227-235. 1993.
- STOORVOGEL, J.J. **Land Quality Indicators for Sustainable Land Management.** Disponible en www.ciesin.org/lw-kmn/mbguidl2.html. 2000.
- SWIFT, M.J. et al.. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes are we asking the right questions?. **Agriculture, Ecosystems Environment** 104: 113-134. 2004.
- VENTIMIGLIA, L. et al.. **Exportación de nutrientes en campos agrícolas.** Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS 7: 11-12. 2000.
- VICENTE, G.R et al.. Valoración económica del carbono en el monte nativo Entrerriano. **XIII Congreso Forestal Mundial Buenos Aires, Argentina.** 10 pp. 2009
- YURJEVIC, A. Marco conceptual para definir un desarrollo de base humano y ecológico. **Agroecología y desarrollo**, CLADES, Chile, N° 5-6:2-15. 1993.
- WCED. **Our common future.** Oxford Univ. Press, Oxford. 74 pp. 1987.