

Asociación Argentina de Economía Agraria

Determinación del Costo Ambiental Asociado a los Balances de Nitrógeno y Fósforo en Sistemas Agropecuarios del Partido de Pergamino

Priscila B. Cano, Silvina M. Cabrini.¹

¹ Priscila Cano es alumna de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad del Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, priscilacano8@gmail.com. Silvina M. Cabrini es investigadora del Área de Economía y Sociología del INTA Pergamino y profesora adjunta de la cátedra de Economía General y Agraria de la Universidad del Nacional Noroeste de la Provincia de Buenos Aires cabrini.silvina@inta.gob.ar.

Determinación del Costo Ambiental Asociado a los Balances de Nitrógeno y Fósforo en Sistemas Agropecuarios del Partido de Pergamino

Resumen

La alteración de los ciclos de los principales nutrientes es un aspecto clave en la caracterización ambiental de los sistemas de producción agropecuaria en distintas regiones del mundo. Este trabajo se propone estudiar los balances de los principales nutrientes, nitrógeno y fósforo, según el uso y manejo de la tierra agrícola en campos de productores del partido de Pergamino, norte de la provincia de Buenos Aires, y determinar el costo de reposición asociado a los balances negativos de estos nutrientes. Los datos utilizados fueron obtenidos en una encuesta a productores para las campañas 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012. Se entrevistaron un total de 19 productores de cinco subcuencas, ubicadas dentro de la cuenca alta del arroyo Pergamino.

Los resultados muestran balances negativos para ambos nutrientes en la mayoría de los establecimientos. El costo promedio de reposición de ambos nutrientes es de 34 u\$s/ha. Existe una alta variabilidad entre empresas, y para algunas rotaciones se han estimado balances positivos para ambos nutrientes. El agrupamiento natural de las empresas estudiado mediante un análisis de cluster muestra que las empresas con balances más negativos de nutrientes, tienen en promedio mayor superficie manejada, menor diversificación productiva y mayor proporción de tierra alquilada.

Palabras clave: agricultura pampenada, sustentabilidad, balances de nutrientes

Clasificación Temática: Economía ambiental y de los recursos naturales

Abstract

Nutrients balances are key indicators in the assessment of environmental performance of agricultural production systems. In this study nitrogen and phosphorous balances are computed for different land uses in Pergamino district, North of Buenos Aires, and the replacement cost associated with negative nutrient balances is determined. The analysis is based on data on farming production systems and firm characteristics collected in a survey to farmers for cropping years 2009-2010, 2010-2011 and 2011-2012.

Results show that nutrient balances are negative in the majority of the farms, with an average replacement cost of 34 u\$s/ha. However, N and P balances show high variability within farms. Cluster analysis indicates that farms with negative balances for both nutrients tend to be larger, with lower productive diversification and a higher proportion of rented land.

Key words: Agriculture, Argentina's pampas, sustainability, nutrient balances.

Introducción

La agricultura genera cambios en los recursos naturales y puede alterar la provisión de los servicios ecosistémicos. Se denominan servicios ecosistémicos a los flujos de materiales, energía e información generados por el capital natural (Costanza et al., 1997). La falta de un mercado donde se intercambian estos servicios hace que, generalmente, no sean considerados correctamente en la toma de decisiones para la asignación de recursos. Sin embargo, los servicios ecosistémicos son valiosos para la sociedad y la asignación de un valor marginal a estos servicios es un tema de suma importancia en la actualidad (Prabu, 2007; Antle, 2007).

La alteración de los ciclos de los principales nutrientes es un aspecto clave en la caracterización ambiental de los sistemas de producción en distintas regiones del mundo (Berge et al., 2000; Rockström et al., 2009 ; Vitousek et al., 2009). El nitrógeno y el fósforo son los principales macronutrientes en agricultura y las alteraciones en los ciclos de estos dos nutrientes han sido identificados como problemas críticos para la sustentabilidad global (Rockström et al., 2009). Por un lado los excesos de nutrientes pueden contaminar aguas superficiales y profundas (Berge et al., 2000). Por otro lado, los balances de nutrientes negativos reiterados llevan a la pérdida de la productividad del suelo (Flores y Sarandón, 2002; Cabrini et al., 2013). La disminución del capital natural debido a la disminución de la fertilidad genera, un importante costo productivo, que no ha sido cuantificado con la metodología económica convencional que considera ingresos y egresos en el corto plazo (Castells y Munda, 1999).

Varios autores han estudiado la pérdida de la fertilidad del suelo en la región pampeana argentina, como consecuencia de los balances de nutrientes negativos en los principales cultivos. Los resultados reportados indican que la soja, actividad predominante en la zona, fue el cultivo que provocó mayores pérdidas de nutrientes (Zazo et al., 2011; Vicente y Engler, 2008; Manchado, 2010; Cabrini et al., 2013). Adicionalmente, en Uruguay, Oyhantçabal y Narbondo (2012) también encontraron que el modelo predominante de producción de soja genera disminución de los niveles de nitrógeno y fósforo del suelo.

Esta situación se da en un marco en que el funcionamiento de los ciclos de nutrientes no es un factor considerado por los responsables de la toma de decisiones sobre el uso agropecuario de los recursos naturales, tanto en la elección de los sistemas de producción a nivel privado, como en la implementación de políticas que generen incentivos para adoptar determinados sistemas. El criterio de elección de cultivos comúnmente utilizado son los márgenes de las actividades en el corto plazo y la aplicación de fertilizantes prevaleciente, está basada en la respuesta económica del cultivo de cada campaña (Zazo et al., 2011).

Este estudio se propone estudiar los balances de los principales nutrientes, nitrógeno y fósforo, según el uso y manejo de la tierra agrícola en campos de productores del partido de Pergamino, y determinar el costo de reposición asociado a los balances negativos de estos nutrientes.

Datos y Métodos

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 que abarcan una superficie aproximada de 4000 ha. (Figura 1). Las mismas están delimitadas por el relieve superficial y ubicadas dentro de la cuenca alta del arroyo Pergamino, en el Norte de la Provincia de Buenos Aires. A pesar de que el objetivo fue

censar el total de los productores de estas subcuencas, algunos productores no se pudieron localizar o los responsables no estuvieron dispuestos a completar la encuesta. Se relevó información sobre aproximadamente un 70% de la superficie total de las subcuencas.

Los datos relevados permiten caracterizar las empresas en función de 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.

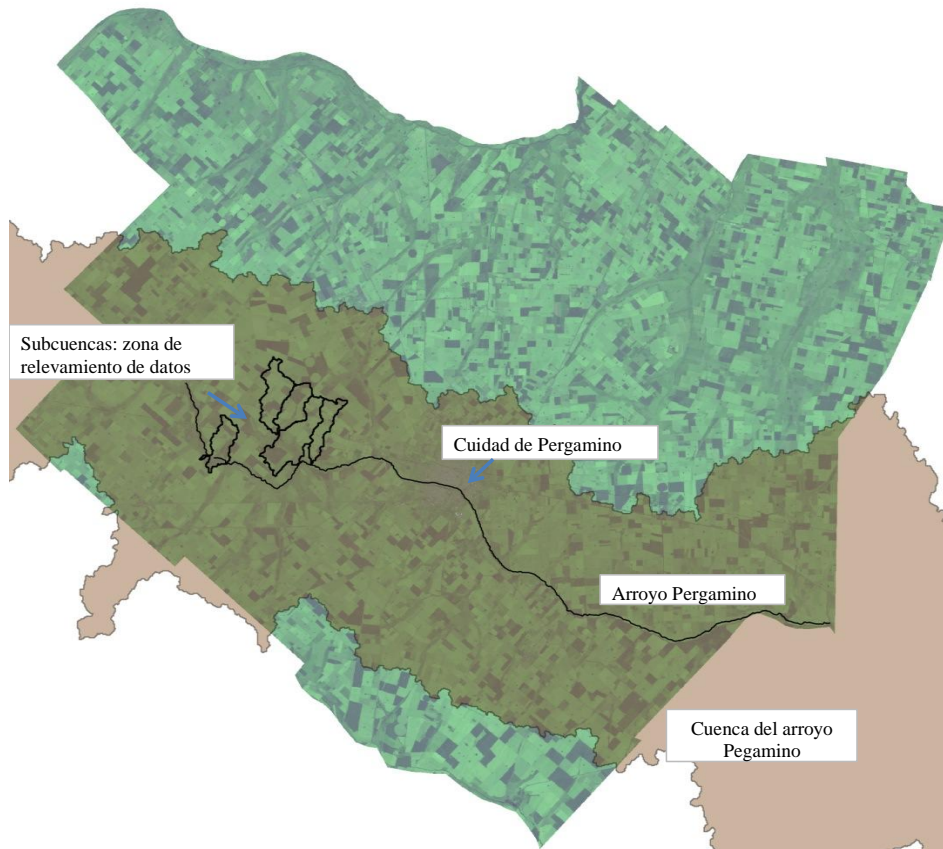


Figura 1. Localización del área de relevamiento de información, cinco subcuencas dentro del partido de Pergamino, Norte de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Los datos de superficie manejada son utilizados como un indicador del tamaño de las empresas, por lo que se considera el total de la tierra trabajada dentro y fuera de las subcuencas. El nivel de profesionalización se mide utilizando una variable binaria que toma el valor de 1 si la empresa está manejada por un profesional con título universitario de carreras relacionadas a la producción agropecuaria o cuenta con asesoramiento privado de un ingeniero agrónomo, y cero si no lo hace. El nivel de diversificación de actividades productivas se estima en base al índice de grado de concentración de Herfindahl-Hirschman. 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 calcula como la sumatoria de los porcentajes al cuadrado de la superficie asignada a cada uno de los cultivos, teniéndose en cuenta solo suelos con aptitud

agrícola. El valor más elevado del mismo corresponde al uso de tierra con un único cultivo, valores menores corresponden a mayores niveles de diversificación productiva.

En base a los datos recolectados se calcularon los indicadores ambientales de balances de nitrógeno (BN) y fósforo (BP). Los balances miden la diferencia entre los nutrientes que entran al sistema a través de la fertilización de los cultivos, y en el caso del nitrógeno, también a través de la fijación biológica y las precipitaciones, y la extracción de nutrientes en la producción cosechada o exportada del sistema.

Hubo casos en los que los productores no aportaron los datos de los rendimientos. En estos casos, se procedió de la siguiente forma, si los rendimientos de ninguna de las tres campañas fueron aportados se utilizaron los datos promedios del partido de Pergamino para cada una de las campañas (SIIA) (3 empresas). En los casos de que no se contaba con datos en alguna de las tres campañas, los rendimientos faltantes se calcularon en función de la variación entre campañas en los rendimientos a nivel partido y los datos de rendimiento reportados para alguna de las campañas. Para el cálculo de la extracción de nutrientes, los rendimientos se expresaron en materia seca y se los multiplicó por el factor de concentración de nitrógeno y fósforo en los productos agropecuarios (Tabla 1).

Tabla 1. Concentración de nutrientes en los productos agropecuarios

| Cultivo | N | P | Fuente |
|--|-------|------|--------|
| Kg nutriente/tn producto (materia seca) | | | |
| Maíz | 14,96 | 3,04 | 1 |
| Trigo | 20,70 | 4,00 | 1 |
| Cebada | 17,88 | 3,04 | 1 |
| Soja | 60,00 | 6,16 | 3 |
| Avena | 20,00 | 3,00 | 1 |
| Arveja | 15,00 | 2,00 | 2 |

Nota.Fuentes:1-Garcia y Correndo, 2011. 2-Ciampitti y García, 2008. 3-Di Ciocco et al., 2011.

Los ingresos por fertilización se calcularon en base a la composición de los fertilizantes aplicados (Tabla 2) y las dosis utilizadas, según la información recibida de los productores encuestados. A los fines del cálculo, se consideró una eficiencia de aplicación del fertilizante del 100%. Se consideran también las entradas de nitrógeno por las precipitaciones acumuladas para cada campaña (Tabla 3).

Tabla 2. Concentración de nitrógeno y fósforo en los fertilizantes utilizados por los productores agropecuarios encuestados.

| Fertilizante | Nitrógeno (N) | Fósforo (P ₂ O ₅)* |
|-------------------------------------|------------------|--|
| - contenido de nutrientes (%) - | | |
| Arrancador soja (1) | 0 | 30 |
| Arrancador soja (2) | 0 | 40 |
| Arrancador soja ACA | 0 | 20 |
| Arrancador maíz IV Cargil | 13 | 42 |
| Arrancador maíz pop fosforado | 6,6 | 38,6 |
| Arrancador trigo y maíz | 14 | 35 |
| Arrancador maíz, soja, trigo/soja | 7 | 40 |
| Arrancador-Sausor YARA | 1 | 13 |
| Fertilizante trigo /soja | 70 | 40 |
| Foliar Nitrofoska | 8 | 12 |
| Fosfato diamonico | 19,5 | 50 |
| Fosfato diamonico-ASP | 17 | 47 |
| Fosfato monoamonico (1) | 12 | 55 |
| Fosfato monoamonico (2) | 15 | 55 |
| PMA+SSP soja | 40 | 0 |
| Mezcla fosforada (1) soja ASP | 4,7 | 34,7 |
| Mezcla fosforada (2) soja, maíz ASP | 7,5 | 16 |
| Mezcla fosforo y azufre trigo | 0 | 50 |
| Mezcla soja, cebada ASP | 6 | 40 |
| Mezcla trigo/cebada, soja | 0 | 40 |
| Mezcla trigo, cebada y raygrass | 7 | 40 |
| Solmix 50/50-Pasa | 28 | 0 |
| Roullier 220 maíz y sorgo | 15 | 30 |
| Superfosfato simple | 0 | 20 |
| Superfosfato triple | 0 | 48,5 |
| Supersoja | 0 | 30 |
| TOP-PHOS | 0 | 18 |
| Uan | 30 | 0 |
| Urea granulada | 46 | 0 |

Nota: * P (kg/ha) = P₂O₅ (kg/ha)*0,44

Fuentes: Melgar, R. Fertilizantes Comerciales. [Http://www.fertilizando.com](http://www.fertilizando.com)

Fichas técnicas de productos.

En el caso del nitrógeno, se considera además el aporte por fijación biológica. Este aporte se estimó como un 86% de nitrógeno exportado para los cultivos de soja y arveja. Este valor se basa en el trabajo de Di Ciocco et al. (2011) quienes estimaron que la soja fija de la atmósfera 52 kg N por tonelada de grano producida y extrae por cosecha 60 kg de N por tonelada de grano.

Tabla 3. Aporte de nitrógeno por precipitaciones

| Campaña | Precipitación (mm) | Aporte (kgN/ha) |
|-----------|-----------------------|--------------------|
| 2009/2010 | 1272 | 5,14 |
| 2010/2011 | 881,8 | 4,79 |
| 2011/2012 | 858,3 | 6,11 |

Fuente: Carnelos et al. 2014.

Con la diferencia entre los ingresos y la exportación de nutrientes, se obtuvieron los balances de nitrógeno y fósforo. Cuando los balances determinados fueron valores negativos, se determinaron los costos de reposición de nitrógeno y fósforo asociados a llevar el balance cero. Este costo se calculó multiplicando la magnitud del balance negativo por el precio del nutriente en el mercado, (sin incluir costos de acarreo y/o de maquinaria de aplicación). Se consideraron los precios promedios de urea y superfosfato triple de las tres campañas analizadas, período 2009-2012, tomados de la revista Agromercado. A los costos obtenidos se los expresó también en toneladas de soja y maíz, para ello se utilizaron los precios promedio de soja y maíz de las tres campañas analizadas, tomados de la Bolsa de Comercio de Rosario (Tabla 4).

Tabla 4. Precios de fertilizantes y productos

| | 2009 | 2010 | 2011 | Promedio |
|---------------------|--------------|--------|--------|----------|
| | --u\$/kg -- | | | |
| Urea granulada | 0,49 | 0,47 | 0,63 | 0,53 |
| Superfosfato triple | 0,55 | 0,55 | 0,70 | 0,60 |
| Precio N | 1,07 | 1,01 | 1,36 | 1,15 |
| Precio P | 2,58 | 2,58 | 3,26 | 2,80 |
| | -- u\$/tn -- | | | |
| Soja | 272,19 | 227,52 | 311,74 | 270,48 |
| Maíz | 119,89 | 122,51 | 183,91 | 142,10 |

Fuente: Revistas Agromercado

Bolsa de Comercio de Rosario: <http://www.bcr.com.ar/Pages/Granos/Historicos/default.aspx>

Cotización del Dólar http://www.cotizacion-dolar.com.ar/dolar_historico_2009.php

Para interpretar los efectos ambientales de los casos en que los balances resultaron positivos, se consideró la magnitud de los mismos y la vulnerabilidad a la contaminación de la napa freática determinada a través del modelo Drastic (Andriulo, 2010). Este modelo de vulnerabilidad considera y valora siete parámetros: profundidad de la freática (D), recarga (R), características del acuífero (A), textura del suelo (S), pendiente del terreno (T), características de la zona vadosa (I) y conductividad hidráulica (C).

Resultados y Discusión

La Tabla 5 muestra las características de las empresas encuestadas. Los productores encuestados manejan superficies desde 30ha hasta 4000ha con un promedio de 590ha. En promedio un 53% de la tierra se trabaja bajo alquiler. En 17 de las 19 empresas las decisiones de manejo son tomadas por profesionales.

El índice de concentración de Herfindahl muestra valores que van desde 2800 hasta 10000. Las empresas 108 y 116 realizan monocultivo de soja en toda la superficie durante los años relevados y por lo tanto presentan el máximo valor del índice (10000). Cuanto más cultivos participan en la rotación y la proporción de los mismo es más balanceada, el valor del índice disminuye como es el caso de la empresa 104 con valor del índice de HH (2800) la cual incluyó en su rotación 4 cultivos en proporciones balanceadas.

Tabla 5. Características descriptivas de las empresas encuestadas

| Empresa | Superficie total ¹ ha | Superficie alquilada % | Toma de decisiones profesionalizada | Índice de concentración productiva ² HH | Rotación de cultivos ³ |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|---|---|--|
| 1 | 215 | 100 | si | 4412 | 1 M - 2 S - 1 T/S |
| 2 | 60 | 100 | si | 3651 | 1 Avc/M - 1 Avc/S |
| 3 | 2500 | 100 | si | 6438 | 9 S - 1 T/S |
| 4 | 30 | 0 | si | 5000 | 1 T/S |
| 5 | 350 | 0 | si | 2800 | 1 Mp - 1 Ar/S - 1 T/S |
| 6 | 520 | 100 | si | 3301 | 6 S - 6 Mp - 1 T/S - 1 C/S - 1 Ar/S - 1 Av/S |
| 7 | 96 | 0 | si | 6212 | 2 S - 1T/S |
| 8 | 169 | 0 | si | 8337 | 9 S - 1 M |
| 9 | 4000 | 100 | si | 10000 | 1 S |
| 10 | 1071 | 0 | si | 5804 | 7 S - 3 M |
| 11 | 60 | 100 | no | 6329 | 7 S - 2 M - 1 A/S |
| 12 | 56 | 0 | no | 3740 | 2 S - 2 T/S - 1 C/S - 1 M |
| 13 | 370 | 100 | si | 5218 | 2 T/S - 1 S |
| 14 | 238 | 100 | si | 4286 | 3 S - 1 Mp - 1 T/S - 1 C/S - 1 R/S |
| 15 | 464 | 0 | si | 6660 | 7 S - 3 M |
| 16 | 282 | 0 | si | 6014 | 7 S - 2 T/S - 1 M |
| 17 | 459 | 100 | si | 10000 | 1 S |
| 18 | 45 | 27 | si | 5556 | 1 S - 1 Manz/S |
| 19 | 236 | 73 | si | 4005 | 4 S - 3 M - 3 T/S |
| 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, 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)

3. 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.

La última columna presentan las rotaciones de cultivos determinadas para cada empresa. Los números indican la proporción de cultivos en cada establecimiento. Los cultivos predominantes son soja, maíz, maíz pop y trigo soja. También aparecen en las rotaciones varios doble cultivos, principalmente con soja como cultivo de verano.

La Tabla 6 muestra los valores promedio de los egresos, ingresos y balances de N para cada cultivo según el manejo reportado por los productores. El doble cultivo trigo-soja 2da generó la mayor extracción de nitrógeno, con un promedio de 222 kg N/ha. En segundo lugar se encuentra la soja 1ra con un promedio de extracción 188 kg N/ha. Luego otros doble cultivos, el maíz y por último, el maíz pop, que presentó el menor valor de extracción de nitrógeno (31,4 kg N/ha).

En cuanto a la aplicación de fertilizantes, los maíces (1ra, 2da y pop) reciben las mayores dosis de fertilizante nitrogenado (entre 91 y 125 kg N/ha). En el otro extremo, en soja 1ra y manzanilla/soja no se aplican fertilizantes nitrogenados, pero estos cultivos tiene un pequeño aporte de N debido a la participación de este elemento en la composición de los fertilizantes que se utilizan como fuente de P. Dado que se estima que para las leguminosas (soja y arveja) un 86% de nitrógeno exportado proviene de fijación biológica, los valores de nitrógeno que ingresan por esta vía son elevados, con un máximo de 167 kg N/ha para el cultivo de soja de 1ra.

Con respecto a los balances de N, para soja y para la mayoría de los doble cultivos que incluyen soja como cultivo de verano, los balances de nitrógeno son negativos. En cambio los maíces tienen, en promedio balances positivos.

Tabla 6. Balance de N promedio por cultivo en campos de productores agropecuarios del partido de Pergamino

| Cultivo | n | Rendimiento (tn/ha) | Egreso (kgN/ha) | Ingreso por fertilizante (kgN/ha) | Ingreso por fijación biológica y precipitaciones (kgN/ha) | Balance (kgN/ha) |
|----------------------|----|---------------------|-----------------|-----------------------------------|---|------------------|
| Soja | 44 | 3,14 | 188,33 | 1,77 | 167,15 | -19,39 |
| Trigo/Soja | 17 | 4.14 / 2.39 | 222,28 | 78,88 | 128,57 | -14,81 |
| Maíz | 15 | 6,56 | 98,07 | 96,43 | 5,23 | 3,6 |
| Maíz pop | 14 | 2,1 | 31,44 | 90,72 | 5,23 | 67,98 |
| Avena cobertura/Maíz | 6 | / 7.13 | 106,59 | 125 | 5,35 | 23,76 |
| Cebada/Soja | 5 | 3.22 / 1.89 | 137,78 | 62,36 | 102,69 | 27,28 |
| Avena cobertura/Soja | 4 | / 2.96 | 186,36 | 14,3 | 158,26 | -13,8 |
| Manzanilla/Soja | 3 | 0.88 / 2.6 | 155,7 | 0,04 | 139,25 | -16,41 |
| Arveja/Soja | 3 | 1.83 / 2.4 | 171,8 | 8,66 | 143,73 | -19,4 |
| Raigrás/Soja | 2 | / 1.64 | 98,61 | 26,05 | 90,25 | 17,7 |

La Tabla 7 muestra los valores promedio de los egresos, ingresos y balances de P para cada cultivo. Las magnitudes de egresos e ingresos de este elemento son del orden del 10% de los valores reportados para N. El orden de las actividades según los valores de extracción de P es similar al orden reportado para extracción de N. El doble cultivo trigo-soja 2da generó la mayor extracción, con un promedio de 29 kg P/ha. En segundo lugar se encuentra avena-maíz, luego el maíz, soja y avena-soja. Luego siguen en orden otros doble cultivos y por último, el maíz pop.

El doble cultivo avena-maíz tuvo el mayor aporte de P por la fertilización, con un promedio de 37 kg P/ha. En segundo lugar se encuentra trigo-soja 2da, luego el maíz, la cebada-soja, y el maíz pop. Otros doble cultivos tiene valores de ingreso promedio entre 13 kg P/ha y 1 kg P/ha. La soja tuvo un aporte por fertilizantes de 9 kg P/ha.

Con respecto a los balances de P, el doble cultivo con maíz, maíz pop, cebada/soja y maíz presentan valores positivos, es decir que el aporte por fertilización supera la extracción por los cultivos. Por otro lado la soja 1ra y el resto de los doble cultivos con soja presenta valores negativos del balance.

Tabla 7. Balance de P promedio por cultivo en campos de productores agropecuarios del partido de Pergamino

| Cultivo | n | Rendimiento (tn/ha) | Egreso (kgN/ha) | Ingreso por fertilizante (kgN/ha) | Balance (kgN/ha) |
|----------------------|----|------------------------|--------------------|---|------------------|
| Soja | 44 | 3,14 | 19,33 | 9,24 | -10,1 |
| Trigo/Soja | 17 | 4.14 / 2.39 | 29,72 | 25,75 | -3,97 |
| Maíz | 15 | 6,56 | 19,93 | 22,47 | 2,54 |
| Maíz pop | 14 | 2,1 | 6,17 | 18,73 | 12,56 |
| Avena cobertura/Maíz | 6 | / 7.13 | 21,66 | 37,84 | 16,18 |
| Cebada/Soja | 5 | 3.22 / 1.89 | 17,44 | 20,24 | 2,8 |
| Avena cobertura/Soja | 4 | / 2.96 | 19,54 | 13,75 | -5,79 |
| Manzanilla/Soja | 3 | 0.88 / 2.6 | 15,99 | 1,61 | -14,37 |
| Arveja/Soja | 3 | 1.83 / 2.4 | 18,48 | 7,48 | -11 |
| Raigrás/Soja | 2 | / 1.64 | 10,12 | 8,47 | -1,65 |

Los siguientes resultados (Tablas 8 y 9) presentan los resultados de los balances calculados a nivel establecimiento, junto con el cálculo del costo de reponer los nutrientes en los casos de balances negativos. Los datos indican que existe una alta variabilidad en los balances estimados entre las empresas. En promedio, los balances son de -9,6 y -6,2 Kg/ha para N y P, respectivamente. El costo promedio asociado a la reposición de nutrientes es de 15 y 19 u\$/ha, para ambos nutrientes, respectivamente. Las tablas muestran también los costos expresados en quintales (qq) de los principales cultivos, soja y maíz.

Tabla 8. Balance de nitrógeno y costo de reposición, según el uso y manejo de la tierra en campos de productores del partido de Pergamino

| Empresa | Balance N kg/ha | Costo de reposición | | |
|----------|--------------------|---------------------|------------|------------|
| | | u\$/ha | qq soja/ha | qq maíz/ha |
| 1 | -16,67 | 19,12 | 0,71 | 1,35 |
| 2 | 3,96 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | -12,12 | 13,90 | 0,51 | 0,98 |
| 4 | -38,46 | 44,10 | 1,63 | 3,10 |
| 5 | 11,85 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 17,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | -6,42 | 7,36 | 0,27 | 0,52 |
| 8 | -15,24 | 17,48 | 0,65 | 1,23 |
| 9 | -25,08 | 28,76 | 1,06 | 2,02 |
| 10 | 5,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 11 | -27,07 | 31,04 | 1,15 | 2,18 |
| 12 | 13,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 13 | -18,55 | 21,27 | 0,79 | 1,50 |
| 14 | 14,81 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15 | -20,84 | 23,90 | 0,88 | 1,68 |
| 16 | -19,63 | 22,51 | 0,83 | 1,58 |
| 17 | -17,56 | 20,13 | 0,74 | 1,42 |
| 18 | -18,99 | 21,78 | 0,81 | 1,53 |
| 19 | -11,72 | 13,44 | 0,50 | 0,95 |
| Promedio | -9,59 | 14,99 | 0,55 | 1,05 |
| Máximo | 17,35 | 44,10 | 1,63 | 3,10 |
| Mínimo | -38,46 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabla 9. Balance de fósforo y costo de reposición, según el uso y manejo de la tierra en campos de productores del partido de Pergamino

| Empresa | Balance P kg/ha | Costo de reposición | | |
|----------|--------------------|---------------------|------------|------------|
| | | u\$/ha | qq soja/ha | qq maíz/ha |
| 1 | -6,47 | 18,15 | 0,67 | 1,28 |
| 2 | 5,82 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | -12,53 | 35,14 | 1,30 | 2,47 |
| 4 | -7,74 | 21,70 | 0,80 | 1,53 |
| 5 | -0,42 | 1,18 | 0,04 | 0,08 |
| 6 | -3,83 | 10,73 | 0,40 | 0,75 |
| 7 | -11,97 | 33,56 | 1,24 | 2,36 |
| 8 | -7,12 | 19,97 | 0,74 | 1,41 |
| 9 | -22,03 | 61,78 | 2,28 | 4,35 |
| 10 | -2,92 | 8,18 | 0,30 | 0,58 |
| 11 | -11,05 | 30,99 | 1,15 | 2,18 |
| 12 | 5,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 13 | -7,57 | 21,22 | 0,78 | 1,49 |
| 14 | 1,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15 | -4,98 | 13,96 | 0,52 | 0,98 |
| 16 | -4,75 | 13,32 | 0,49 | 0,94 |
| 17 | -3,32 | 9,30 | 0,34 | 0,65 |
| 18 | -17,15 | 48,09 | 1,78 | 3,38 |
| 19 | -6,73 | 18,87 | 0,70 | 1,33 |
| Promedio | -6,21 | 19,27 | 0,71 | 1,36 |
| Máximo | 5,82 | 61,78 | 2,28 | 4,35 |
| Mínimo | -22,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Nota: La escala de colores representa la magnitud de los balances, en rojo los valores más negativos y en verde los más positivos

La Figura 2 muestra que hay una correlación positiva entre los balances para ambos nutrientes. Las empresas con balances negativos de N, tienden a tener balances negativos de P. Tres de las empresas tienen balances positivos para ambos nutrientes y tres empresas presentan balances positivos solo de N. El resto de las empresas (13) presenta balances negativos para ambos nutrientes. En los casos en que se estimaron excesos de nutrientes (balances positivos), se puede considerar que la magnitud es relativamente pequeña. Adicionalmente, considerando que según Andriulo et al, (2010). la vulnerabilidad de contaminación del agua subterránea es moderada, estos resultados parecen indicar un bajo riesgo de contaminación por nutrientes en la zona de estudio². La Figura 3 muestra los costos totales de reponer ambos nutrientes por empresas y la participación de cada nutriente en este costo.

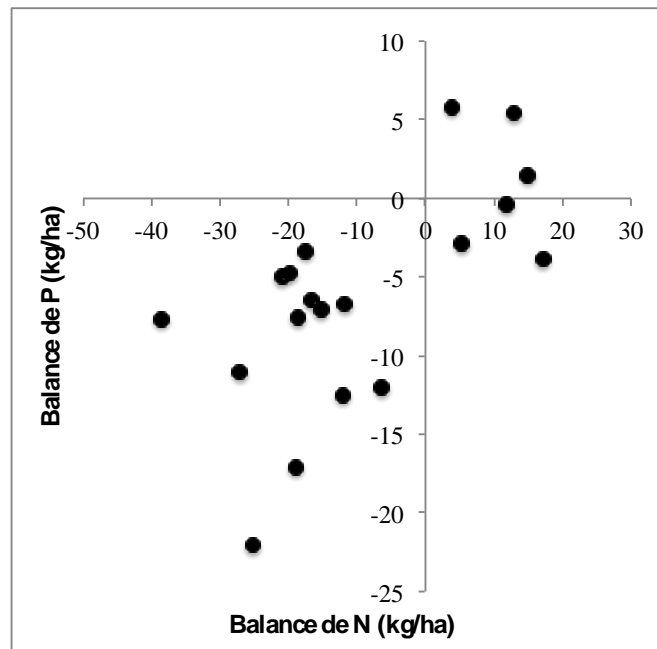


Figura 2. Balance de P vs. Balance de N para las rotaciones relevadas en campos de productores del partido de Pergamino

² Se planea en estudio posteriores profundizar el análisis sobre el riesgo de contaminación y los costos asociados, en base a datos generados por un sistemas de monitoreo de nutrientes en las aguas subterráneas que se está llevando a cabo en la zona.

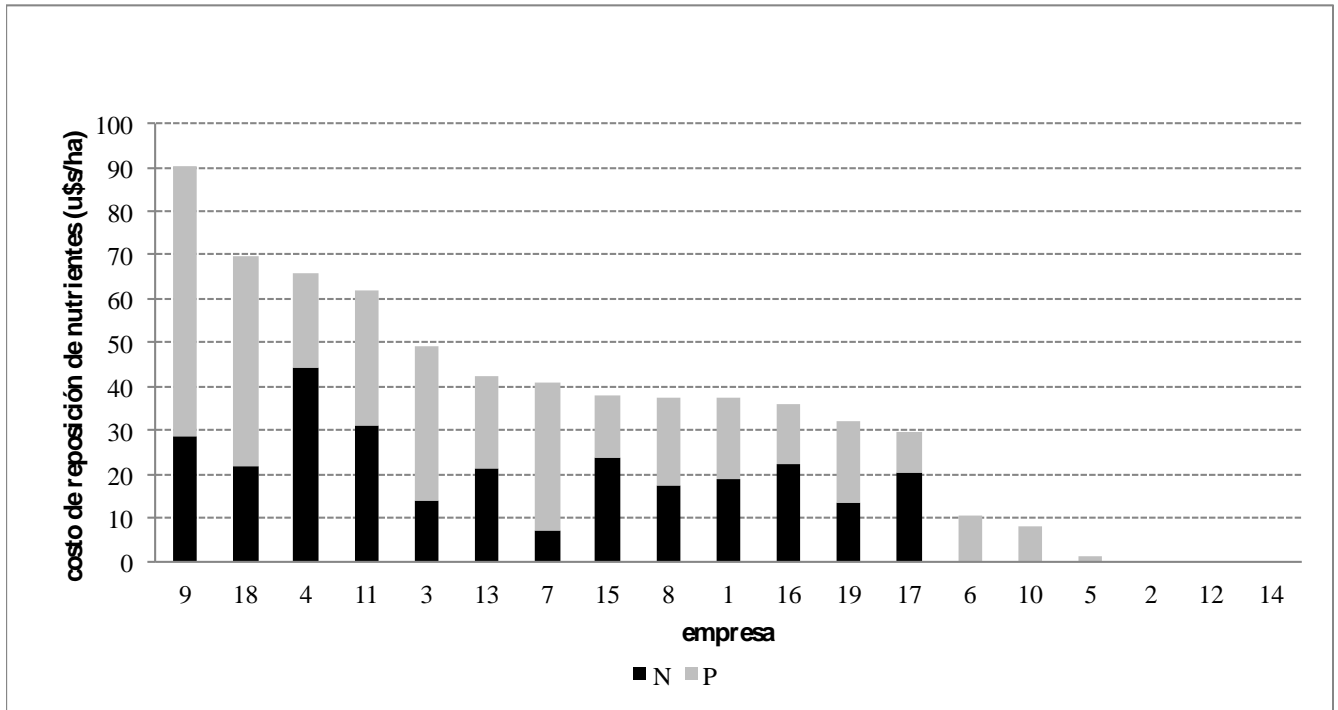
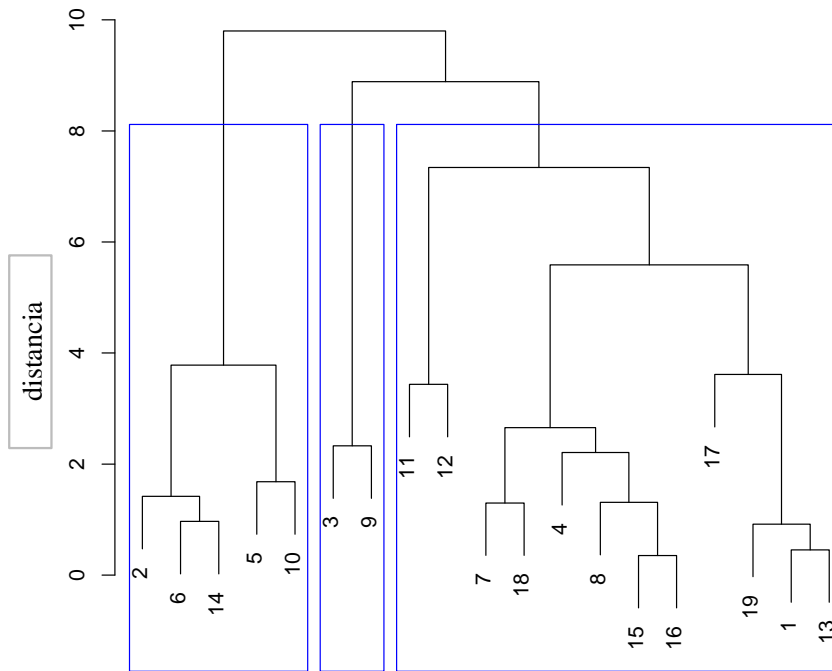


Figura 3. Costo de reposición de N y P para distintos usos y manejo de la tierra reportados por productores agropecuarios del partido de Pergamino

La Figura 4, 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 5, 2 y 12 empresas cada uno. El grupo 2 está formado por las dos empresas de mayor superficie, con un 100% de la tierra alquilada, menor nivel de diversificación productiva y balances negativos para ambos nutrientes. El primer grupo está formado por cinco empresas, con valores promedio positivos para ambos balances. En este grupo las empresas tienen mayor diversificación productiva, un 60% de tierra alquilada.



Promedios de las variables por grupo:

| Grupo | Cantidad de empresas | Superficie total -- ha -- | Superficie alquilada -- % -- | Toma de decisiones profesionalizada | Índice HH | Balance de N -- kg/ha -- | Balance de P |
|-------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------------------------|--------------|
| 1 | 5 | 448 | 0,60 | 1,0 | 3985 | 9,56 | 0,02 |
| 2 | 2 | 3250 | 1,00 | 1,0 | 9228 | -18,60 | -17,28 |
| 3 | 12 | 206 | 0,42 | 0,83 | 5959 | -18,89 | -6,96 |

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

Conclusiones

Este estudio presenta los balances de los principales nutrientes, nitrógeno y fósforo, según el uso y manejo de la tierra agrícola en campos de productores del partido de Pergamino, y el costo de reposición asociado a los balances negativos de estos nutrientes.

Los resultados muestran balances negativos para ambos nutrientes en la mayoría de los establecimientos encuestados. El costo promedio de reposición de ambos nutrientes es de 34 u\$/ha. La magnitud de los balances de nutrientes presenta una alta variabilidad entre empresas, para algunas rotaciones se han estimado balances positivos para ambos nutrientes.

El agrupamiento natural de las empresas estudiado mediante un análisis de cluster agrupó a empresas con balances negativos de N y P, mayor superficie manejada, menor diversificación productiva y mayor proporción de tierra alquilada.

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 la cuenca del arroyo Pergamino.

Bibliografía

Andriulo, A.E. (2010). “Guía de Buenas Prácticas para el Manejo de Nutrientes N y P en la Pampa Ondulada.” Grupo Medio Ambiente –EEA INTA Pergamino.

Antle, J. (2007). “Measuring Ecosystem Services to Implement Efficient Payment Mechanisms.” American Agricultural Economics Association Annual Meeting. Portland, OR, USA.

Berge, H.F.M.; Ittersum, M.K.V. y Rossing, W.A.H. (2000). “Farming Options for The Netherlands Explored by Multi-objective Modelling.” *European Journal of Agronomy*.13, 263-277.

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.

Carnelos, D.A.; Michel, C.L.; Portela, S.; Jobbágy, E.G.; Jackson, R.B.; Di bella, C.; Panario, D.; Fagúndez, C.; Grion, L.C.; Carreño, L. and Piñeiro, G. (2014). “Variación Espacial y Temporal de las Depositiones Atmosféricas en Argentina y Uruguay”. Reunión Binacional Uruguay-Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología, 1-3 Octubre, Piriápolis, Uruguay.

Castells, N. y Munda, G. (1999). “International Environmental Issues: Towards New Integrates Assessment.” En *Valuation and Environment*. M. O’Connor and C Sphash (eds). Edward Elgar, UK. 309-327.

Ciampitti, I.A. y García, F.O. (2008). “Requerimientos Nutricionales Absorción y Extracción de Macronutrientes y Nutrientes Secundarios”. IPNI.

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

Di Ciocco, C.; Penón, E.; Coviella, C.; López, S.; Díaz-Zorita, M.; Momo, F., and Álvarez, R. (2011). “Nitrogen Fixation by Soybean in the Pampas: Relationship between Yield and Soil Nitrogen Balance.” *Agrochimica*. 55(2), 55-67.

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, 52-67.

García, F.O. y Correndo, A. (2011). “Planillas para el Cálculo de Requerimientos Nutricionales”. IPNI.

Manchado, J.C. (2010). “La Sustentabilidad en la Agricultura Pampeana: Valoración Económica del Balance de Nutrientes para las Principales Actividades Agropecuarias Extensivas en la

Región Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires.” XLI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. Potrero de los Funes, Argentina.

Oyhantçabal, G. y Narbondo, I. (2012). “Valorización del Balance de N y P de la Soja en Uruguay”. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica. 19, 54-64.

Parkin, M., y Esquivel, G. (2004). “Organización de la Producción”. Cap 9. Microeconomía Versión para Latinoamérica. Prentice Hall.

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

Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, Å.; Chapin, III, F.S.; Lambin, E.F.; Lenton, T.M.; Scheffner, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H.J.; Nykvist, B.; de Witt, C.A.; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; Sörlin, S.; Snyder, P.K.; Costanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R.W.; Fabry, V.J.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P. and Foley, J.A. (2009). “A Safe Operating Space for Humanity.” Nature. 461, 472-475.

SIIA Sistema integrado de información agropecuaria. <http://www.siiia.gov.ar/>

Vicente, G.; Engler, P. (2008). “Valoración Económica del Balance de Nitrógeno y Fósforo de los Principales Rubros Agrícolas y Pecuarios en la Provincia de Entre Ríos.” Ediciones INTA ISSN 0325-8874, No. 51.

Vitousek, P.M.; Naylor, R.; Crews, T.; David, M.B.; Drinkwater, L.E.; Holland, E.; Johnes, J.; Katzenberger, J.; Martinelli, L.A.; Matson, P.A.; Nziguheba, G.; Ojima, C.A.; Palm, C.A.; Robertson, G.P.; Sanchez, P.A.; Townsend, A.R. & Zhang, F. S. (2009). “Nutrient imbalances in agricultural development”. Science, 324(5934), 1519.

Zazo, F.E.; Flores, C.C.; Sarandon, S.J. (2011). “ El “Costo Oculto” del Deterioro del Suelo Durante el Proceso de “Sojización” en la Región de Arrecifes, Argentina.” Revista Brasileira de Agroecología ISSN 1980-9735. 6, 3-20.