

EFECTOS DE LA AGRICULTURIZACIÓN SOBRE LA EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES EN LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA. EL CASO DEL N Y P EN EL PARTIDO DE BENITO JUÁREZ

Nahuel David **Sequeira**¹, Patricia **Vazquez**², Mónica **Sacido**³

(1 – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Centro de Estudios Sociales de América Latina (CESAL), Facultad de Ciencias Humanas (FCH), UNICEN. nahulsequeira@conicet.gov.ar, <https://orcid.org/0000-0003-2206-4411>, 2 – CONICET. CESAL. FCH, UNICEN, patriciavazquez@conicet.gov.ar, <https://orcid.org/0000-0002-4209-4901>, 3 – Cátedra de forrajes. Facultad de Ciencias Agrarias, UNR, msacido@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0552-2831>)

Resumen: Mundialmente, la creciente pérdida de N y P se presenta como una de las mayores consecuencias negativas del avance agrícola. El objetivo de este trabajo fue calcular un balance aparente de N y P en el partido de Benito Juárez para las campañas agroproductivas 1989/90, 2002/03 y 2014/15; relacionando los resultados alcanzados y la superficie agrícola en cada campaña. Inicialmente, se aplicó el indicador de balance de N y P en las tres campañas. Luego, se estableció la pérdida de nutrientes por unidad de superficie, partiendo de datos de imágenes satelitales del partido y el valor de los balances. Como resultado, se observaron notables variaciones temporales respecto a las superficies fertilizadas y a las dosis aplicadas. Asimismo, se destacaron el crecimiento del área agrícola y las alteraciones en los valores de producción y rendimiento de los cultivos. Los balances de ambos nutrientes resultaron negativos en las tres campañas, demostrándose una continua generación de balances deficitarios, con mayor pérdida de tn de N que P por unidad de superficie (km²). Evidentemente, la sustentabilidad agrícola resultó afectada, por lo que este estudio muestra la situación de los nutrientes en del partido, estableciendo la necesidad de un manejo sustentable de la fertilización.

Palabras clave: Avance agrícola; fertilización; diagnóstico ambiental.

EFEITOS DA AGRICULTURIZAÇÃO NA EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA REGIÃO PAMPA ARGENTINA. O CASO DO PARTIDO DE BENITO JUÁREZ

Artigo recebido para publicação em 26 de janeiro de 2021
Artigo aprovado para publicação em 09 de junho de 2021

Resumo: Mundialmente, a crescente perda de N e P é apresentada como uma das maiores consequências negativas do avanço agrícola. O objetivo deste trabalho foi calcular um saldo aparente de N e P no distrito do Benito Juárez para as campanhas agro-produtivas 1989/90, 2002/03 e 2014/15; relacionando os resultados alcançados e a área agrícola em cada campanha. Inicialmente, o indicador de equilíbrio de N e P foi aplicado nas três campanhas. Em seguida, foi estabelecida a perda de nutrientes por unidade de área, com base em dados de imagens de satélite da distrito e no valor dos saldos. Como resultado, notáveis variações temporais são observadas em relação às superfícies fertilizadas e às doses aplicadas. Da mesma forma, destacam-se o crescimento da área agrícola e alterações nos valores de produção e rendimento das cultivos. Os saldos de ambos nutrientes são negativos nas três campanhas, mostrando uma geração contínua de saldos deficitários, com uma maior perda de tn de N do que de P por por unidade de área (km²). Obviamente, a sustentabilidade agrícola foi afetada, pelo que este estudo mostra a situação dos nutrientes no distrito, estabelecendo a necessidade de uma gestão sustentável da fertilização.

Palavras-chave: Avanço agrícola; fertilização; diagnóstico ambiental.

EFFECTS OF AGRICULTURALIZATION ON NUTRIENT EXTRACTION IN THE ARGENTINEAN PAMPAS. THE CASE OF BENITO JUÁREZ COUNTY

Abstract: The increasing loss of N and P is one of the greatest negative global consequences of agricultural advance. The aim of this study was to calculate an apparent N and P balance in the county of Benito Juárez during the 1989/90, 2002/03 and 2011/12 agroproductive periods, and relating the results achieved with the agriculture surface in each campaign. Initially, the N and P balance indicator was applied in all three campaigns. Then, the loss of nutrients per unit surface was established, based on data from satellite images of the county and the value of the N and P balances. As a result, remarkable temporal variations were observed with respect to the fertilized surfaces and the applied doses. Likewise, the growth of the agricultural area and alterations in the production values and yield of the crops stand out. The balances of both nutrients were negative in the three campaigns, showing a continuous generation of deficit balances, whit greater loss of tn of N than P per surface unit (km²). Obviously, agricultural sustainability is affected, so this study shows the nutrient situation in the county, establishing the need for a sustainable management of fertilization.

Keywords: Agricultural advance; fertilization; environmental diagnosis.

Introducción

Nutrientes como el N y P son elementos indispensables para el desarrollo de plantas y animales (SUTTON et al., 2013) y, por ende, esenciales para asegurar la cadena de provisión de alimentos. Casi la mitad de la población mundial depende de los fertilizantes sintéticos de N y P para garantizar su alimentación, lo que hace que el suministro de estos nutrientes se convierta en un requisito previo para la seguridad alimentaria global. Los desafíos que actualmente enfrenta el planeta, como el crecimiento demográfico y la evolución hacia una dieta más rica en proteínas, demandan que la producción agrícola continúe incrementándose con el paso del tiempo (COPPENS et al., 2015).

Asimismo, desde hace décadas se reconoce la repercusión del agotamiento de los nutrientes como consecuencia de diversas acciones humanas (HALE et al., 2015), destacándose la producción de cultivos y sus efectos como una de las más impactantes (VAN DER VELDE et al., 2014; COPPENS et al., 2015), y convirtiendo a la obtención de alimentos en uno de los principales factores que ejerce presión sobre el recurso suelo. Esto, sumado a las emisiones de aguas residuales (ricas en MO y nutrientes) y la continua quema de combustibles fósiles, ha logrado alterar significativamente los ciclos biogeoquímicos del N y P a nivel mundial (MEKONNEN et al., 2016).

En este sentido, las transformaciones en los ciclos de nutrientes provocadas por la actividad agrícola, pueden desencadenar efectos negativos, tales como un desequilibrio entre los nutrientes aplicados de forma artificial, a través de fertilizantes o estiércol, y aquellos absorbidos por los cultivos (MEKONNEN et al., 2016); situación a su vez derivada en importantes dificultades ambientales. Entre ellas, podemos destacar problemas de calidad del agua, incluyendo la eutrofización (con importantes efectos perjudiciales para la salud humana), pérdida de la calidad ambiental y las actividades económicas que dependen de ella (HALE et al., 2015), disminución en la eficiencia del uso de nutrientes y un menor rendimiento de los cultivos (WEN et al., 2016).

En la Argentina, y especialmente dentro de la denominada Región Pampeana Argentina (RPAArg), la producción agrícola ha sido desarrollada aprovechando la fertilidad natural de las tierras. Esta situación se debe a que los suelos dominantes poseen propiedades químicas, biológicas y físicas, que benefician el desarrollo de los cultivos. Hasta comienzos

de la década de 1970, la alternancia entre agricultura y ganadería constituía el modelo de producción dominante en la RPArg. Los ciclos agrícolas representados por la extracción y exportación de nutrientes se intercalaban con un ciclo de uso ganadero-pastoril, el cual resultaba en un tipo de actividad que generaba una extracción muy por debajo de la ocasionada por la agricultura de cosecha, restituyendo buena parte de la MO y la fertilidad a los suelos (FLORES y SARANDÓN, 2002). A partir de esta época, cobra vital importancia el proceso de agriculturización, definido como la creciente y continua utilización de las tierras para actividades agrícolas en lugar de usos ganaderos o mixtos, y relacionado a avances tecnológicos, expansión de la frontera agropecuaria y desarrollo de producciones destinadas principalmente al monocultivo de soja (VIGLIZZO y JOBÁGGY, 2010).

Una buena manera de analizar estas transformaciones en el uso de las tierras, íntimamente relacionados con la utilización de nutrientes (HALE et al., 2015), es a través de imágenes satelitales (IS). Este tipo de información provee datos cualitativos y espacialmente continuos de la superficie, resultando útil para describir la utilización de la tierra en grandes extensiones. Un ejemplo de lo mencionado es el trabajo realizado por VOLANTE et al. (2015); en el cual se identificó, a partir de IS, que la agricultura en Argentina sufrió un crecimiento de aproximadamente el 35 % entre las campañas 2000/2001 y 2010/11.

Como resultado de dicha intensificación de la agricultura en los últimos años, los suelos de la RPArg han sufrido un intenso agotamiento de nutrientes (MIRETTI et al., 2012) y se produjeron una serie de profundas alteraciones, observándose la existencia de procesos de erosión y pérdida de fertilidad dentro de las principales cuencas productivas de la región (PENGUE, 2001; GARCÍA y SALVAGIOTTI, 2009). Sumado a ello, se ha demostrado un incesante empobrecimiento de los suelos, inducido por la disminución del contenido de MO. Esto puede ser imputado a los sistemas de labranzas empleados, a la progresiva expansión de las oleaginosas (sobre todo soja), a la elevada extracción de nutrientes, y a una toma de decisiones fundadas en el cortoplacismo económico poco propenso a reponer los nutrientes extraídos (CRUZATE y CASAS, 2012).

Como se mencionó, los suelos de la RPArg se caracterizaban por una alta fertilidad natural. Sin embargo, a partir del crecimiento de la actividad agrícola, la reserva de nutrientes disminuyó. Asimismo, al suplantarse cultivos tradicionales (por ejemplo, el maíz) por otros económicamente más redituables como la soja (LANTERI, 2009), que permite su combinación con el ciclo de cultivos invernales, logrando dos cosechas anuales; se generó un

incremento en la tasa de extracción de nutrientes (MANCHADO, 2010; FERRERAS et al., 2015). En tal aspecto, la elevada participación de esta oleaginosa en las secuencias productivas puede ocasionar un marcado deterioro físico y químico del suelo, ya que genera una mayor exportación de nutrientes por tonelada (tn) de grano (BELTRAN et al., 2016) y presenta incapacidad para fijar biológicamente (desde la atmósfera) la totalidad del N que exporta, lo cual lleva a que el resto del nutriente deba ser obtenido del suelo. Por otro lado, la baja respuesta a la fertilización nitrogenada que ha demostrado en la mayoría de las investigaciones concretadas descartaría, en la práctica, la opción de mejorar el balance de N a través del aporte de fertilizantes (FERRARI, 2010).

Dentro de la RPArg, la mayor parte de la historia de los cultivos fue desplegada sin el aporte de fertilizantes. Su utilización, representada por el empleo de compuestos nitrogenados y fosforados en cultivos de cereales y, en menor medida, de oleaginosas, comenzó a adquirir importancia en la década de 1990. Pero esta modificación se encontró más asociada a una posibilidad de aumentar los rendimientos de los cultivos, que a una toma de conciencia acerca de la necesidad de conservar el capital natural (FLORES y SARANDÓN, 2002). No obstante, ese incremento en la fertilización no alcanzó a compensar la elevada tasa de extracción de nutrientes generada.

En los últimos 25 años, se ha incrementado la conciencia acerca de la necesidad de conocer cómo el manejo de los nutrientes en las actividades agropecuarias impacta en el recurso suelo (ABBONA et al., 2016). Un claro indicador de esta situación es el denominado balance de nutrientes, el cual consiste en la diferencia entre ingresos y egresos de nutrientes en un sistema definido en el espacio y el tiempo (MANCHADO, 2010). El resultado de este balance es deficitario o negativo cuando el egreso es mayor que el ingreso, generando pérdidas; o acumulativo, si la entrada de nutrientes es mayor que la salida, situación en la cual se observa una ganancia.

La importancia de llevar a cabo el cálculo del balance a escala de país, región o áreas menores, se debe fundamentalmente a que ha sido señalado por variados autores como un indicador de gran importancia, adecuado para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas; considerando que estos solo podrán ser definidos como sustentables cuando los balances resulten cercanos a cero (SARANDÓN, 2002; FLORES et al., 2007; ALVARADO y LAURA, 2013). En este sentido, los balances negativos reducen la fertilidad

de los suelos, su productividad y rentabilidad; situación que puede derivar en notables impactos indeseados sobre la sustentabilidad de la actividad.

En contraposición, un exceso de nutrientes puede conducir al enriquecimiento de aguas subterráneas, sobre todo con aquellos nutrientes que presentan alta movilidad, poniendo en riesgo la conservación de la calidad de los acuíferos. Asimismo, si este exceso refiere a fertilizantes químicos, puede provocar en la planta un desequilibrio nutricional que favorecería el ataque de plagas y enfermedades, requiriendo la utilización de plaguicidas, con el consecuente impacto negativo sobre la sustentabilidad (FLORES et al., 2007).

Al analizar la bibliografía acerca de esta temática, se observa que existen diversas tentativas de modelización (GUTIÉRREZ et al., 2015). Muchas de ellas ponen en consideración cuatro fuentes de ganancia de nutrientes: fertilizantes de síntesis, abonos orgánicos, deposición atmosférica y sedimentación. Como excepción, se encuentra el balance de N, donde debe considerarse también la fijación biológica. Para el caso de las pérdidas, el número de fuentes asciende hasta cinco: productos cosechados, remoción de residuos de cosecha, lavado, pérdidas gaseosas y erosión (IGLESIAS et al., 2008).

Cuando se analizan estos modelos, nos encontramos ante cálculos que resultan por demás complejos, y más aún si tenemos en cuenta que el concepto de balance de nutrientes se amplía en el tiempo cuando se considera una determinada rotación que incluye más de un cultivo o un ciclo agrícola. Por otro lado, la dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta involucra cambios que generalmente exceden el período de crecimiento de un cultivo como, por ejemplo, la residualidad del P (IGLESIAS et al., 2008).

En este marco, el objetivo del presente trabajo es calcular un balance aparente (acotado) de N y P en el partido de Benito Juárez para las campañas agroproductivas 1989/90, 2002/03 y 2014/15; y establecer una relación entre los resultados alcanzados para los balances y la superficie dedicada a la agricultura en cada campaña.

Materiales y métodos

Área de estudio

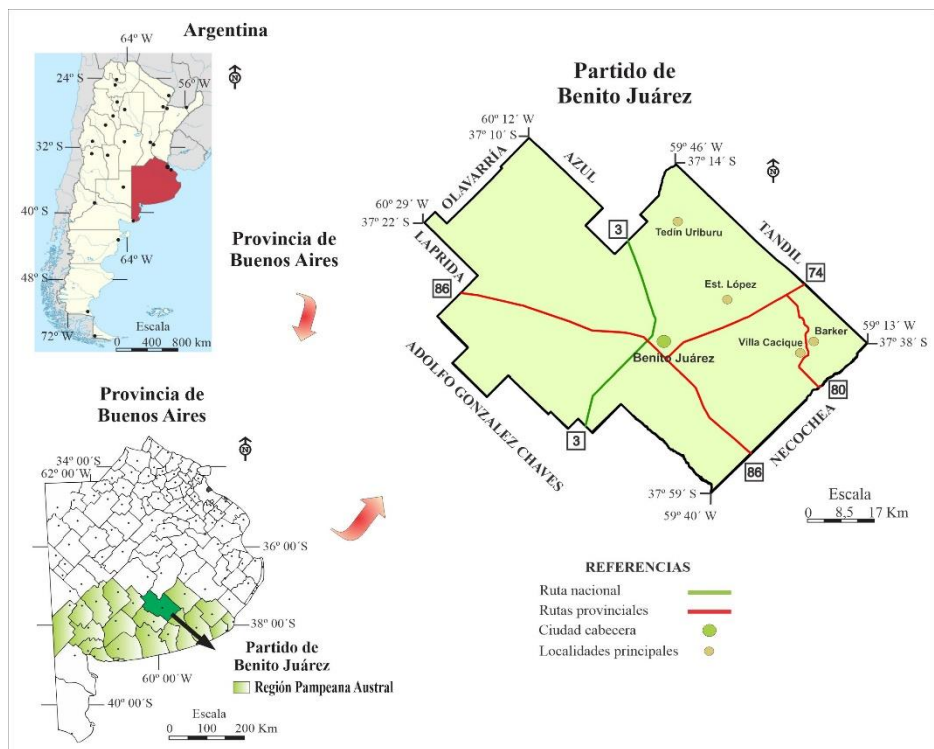
El partido de Benito Juárez se encuentra localizado en el centro-sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina, dentro de la RPArg, extendiéndose entre los 37°10' y 37° 59' latitud S y los 59°13' y 60°29' longitud W (Figura 1). Posee una altitud promedio de 199

msnm, una extensión de 5285 km² y, según los datos aportados por el último Censo Nacional, 20239 habitantes.

Se trata de un área en la que se suceden precipitaciones durante todo el año, y en donde predomina un clima del tipo templado y húmedo con veranos suaves. La temperatura media anual es cercana a los 14°C y los máximos y mínimos absolutos no superan los 42 y -10°C, respectivamente. Consecuentemente, el clima no representa un factor condicionante de las actividades agroproductivas; sino que son las características edáficas, hidrológicas y geomorfológicas las que establecen la capacidad de uso de las tierras del partido.

Por otra parte, se destaca que solo el 19,15 % del territorio muestra aptitud agrícola o agrícola-ganadera, mientras que el resto cuenta con tierras con capacidades de uso ganadera (44,76 %) o ganadera-agrícola (36,08 %). No obstante, se ha producido un importante avance de la agricultura, en muchos casos sobre zonas sin la aptitud necesaria, ocasionando diversos impactos negativos.

Figura 1. Ubicación del partido de Benito Juárez



Fuente: Elaboración personal.

Balance aparente de N y P

Considerando la dificultad de trabajar con balances de nutrientes, se buscó lograr una simplificación metodológica. Para ello, se realizó un balance aparente donde se consideró como extracción de nutrientes (N y P) solamente a la generada por la producción en toneladas (tn) de granos, y como reposición a la superficie sembrada (ha), la aplicación de fertilizantes (kg ha^{-1}), el ingreso de N por precipitaciones y la fijación biológica de N por parte de la soja. Los datos de producción y superficie sembrada se refieren a los cinco principales cultivos agrícolas (soja, maíz, girasol, cebada cervecera y trigo) del partido. Al tratarse de un análisis acotado, no se consideraron las transformaciones de nutrientes en el sistema suelo-planta ni las pérdidas gaseosas, por erosión o lavado. Tampoco se incluyó entre los ingresos al aporte de nutrientes de los residuos de cultivos efectuados en el mismo lote, ya que se consideró un reciclaje dentro del mismo sistema suelo (MANCHADO, 2010).

Este criterio se basó en el hecho de que, en gran cantidad de regiones, la fertilización química conforma la vía de mayor importancia en relación a la reposición de los nutrientes extraídos. Consecuentemente, efectuar una estimación del balance que incluyera como entrada únicamente la aplicación de fertilizantes, y como única salida los productos de cosecha (en zonas donde el resto de las salidas son relativamente escasas), resulta ser un correcto indicador de la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (ROY et al., 2003).

Para llevar a cabo el análisis se aplicó una metodología basada en la adaptación del indicador de balance de N y P de VIGLIZZO (2003). Con este fin, se generaron las fórmulas correspondientes y se observó la variación de los resultados a nivel de partido para las campañas 1989/1990, 2002/03 y 2014/15.

La información empleada acerca de los principales fertilizantes utilizados y sus dosis de aplicación derivó del análisis de consultas a informantes calificados de la región. Para esto, fueron efectuadas 40 entrevistas semiestructuradas a técnicos de INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), responsables de agronomías y productores de Benito Juárez. A partir de ello, se consideraron los productos que se repitieron hasta 30 veces en las entrevistas, y las dosis de aplicación resultaron de un promedio de los valores obtenidos para cada producto. Además, la cantidad de N y P aportados por cada uno de ellos surgió del análisis de información oficial de libre acceso brindada por las empresas productoras.

Es necesario remarcar que no se fertiliza la totalidad de tierras destinadas a cada uno de los cultivos presentes en el partido. Este dato fue obtenido a través de la evaluación de las

entrevistas efectuadas, y coincide con los valores establecidos para la RPArg, según informes confeccionados por la FAO (2004) y la FERTILIZAR ASOCIACIÓN CIVIL (FAC, 2014).

Para toda la información concerniente a los cultivos, tales como superficie sembrada y producción, y datos acerca de los valores medios de precipitación en las campañas evaluadas, se recurrió al sistema Datos Abierto Agroindustria del Ministerio de Agricultura de la Nación (DAA, 2019) y a bases de datos de la agencia de INTA Benito Juárez.

Al momento de la realización del balance de nutrientes propiamente dicho, en primer lugar, se efectuó un análisis acerca del ingreso y egreso de N, mediante las Ecuaciones 1 y 2, respectivamente:

$$IN=I_p+I_f+I_{fb} \quad (E. 1)$$

Donde:

IN: Ingreso de N; I_p : Ingreso de N a partir de precipitaciones ($0.6 \text{ kg N. } 100 \text{ mm lluvia}^{-1}$); I_f : Ingreso de N a partir de la aplicación de fertilizantes; I_{fb} : Ingreso de N por fijación biológica de leguminosas. En este caso se toma el valor asociado a la Soja, la cual fija aproximadamente $0.05 \text{ kg N. kg grano}^{-1}$.

$$EN=N_{exp} \quad (E. 2)$$

Donde:

EN: Egreso de N; N_{exp} : Estimación del N exportado con el producto (en granos) que sale de los establecimientos.

Posteriormente, se procedió a realizar un segundo análisis, en este caso dirigido al ingreso y egreso de P, mediante las Ecuaciones 3 y 4, respectivamente:

$$IP= I_f \quad (E. 3)$$

Donde:

IP: Ingreso de P; I_f : Ingreso de P a partir de la aplicación de fertilizantes.

$$EP=P_{exp} \quad (E. 4)$$

Donde:

EP: Egreso de P; Pexp: Estimación del P exportado con el producto (en granos) que sale de los establecimientos.

Luego de obtenidos los valores de ingreso y egreso de ambos componentes en estudio, fue posible desarrollar los balances para cada campaña, a través de las Ecuaciones 5 y 6:

$$\text{Balance de N} = (\text{IN} - \text{EN}) \quad (\text{E. 5})$$

$$\text{Balance de P} = (\text{IP} - \text{EP}) \quad (\text{E. 6})$$

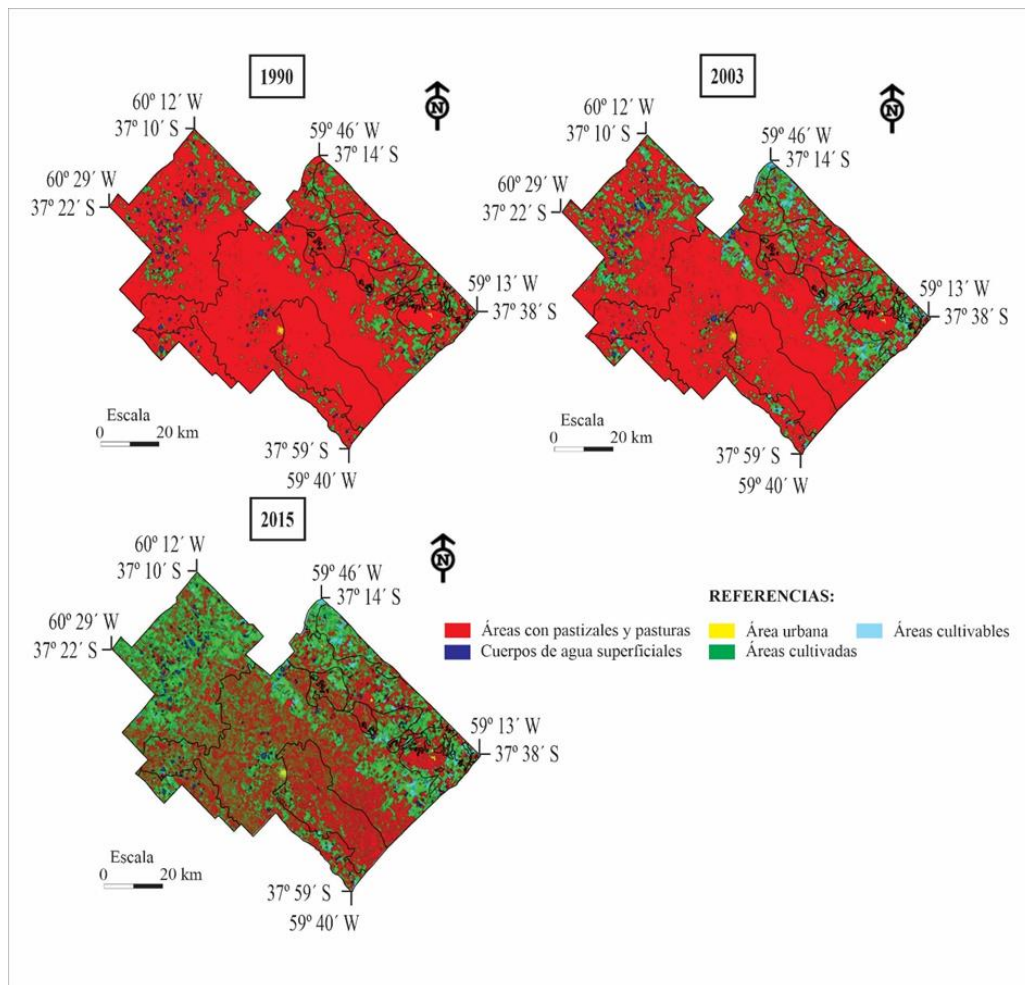
Relación entre los balances y la superficie agrícola

Una vez obtenidos los resultados de los balances, se calculó la cantidad (tn) de nutrientes perdidos por unidad de superficie (km²). De esta manera, se adquirieron los cocientes entre el valor alcanzado para cada balance y la superficie agrícola de cada campaña. Este último dato, se obtuvo del trabajo de SEQUEIRA et al. (2018), en el que se analizaron los cambios de usos del suelo ocurridos en la región de estudio y la variación del área ocupada por cada uno de ellos; mediante tres IS clasificadas de forma supervisada, referidas a cada una de las campañas agroproductivas (Figura 2).

La primera, capturada el 26 de julio de 1990, corresponde a la campaña 1989/90; la segunda, del 28 de diciembre de 2003, a la campaña 2002/03; y la tercera, del 17 de septiembre de 2015, a la campaña 2014/15. En cuanto a las dos primeras, procedentes de la misión Landsat 5, con sensor TM y Path and Row 225-86, se obtuvieron del servidor del INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), perteneciente al Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil. Por su parte, la tercera fue adquirida del portal de descargas de IS EarthExplorer, y procede de la misión Landsat 8, con sensor OLI y Path and Row 225-86.

Finalmente, se observaron los resultados conseguidos y se analizó su variación temporal entre las tres campañas.

Figura 2. Transformaciones en el uso del suelo del partido de Benito Juárez



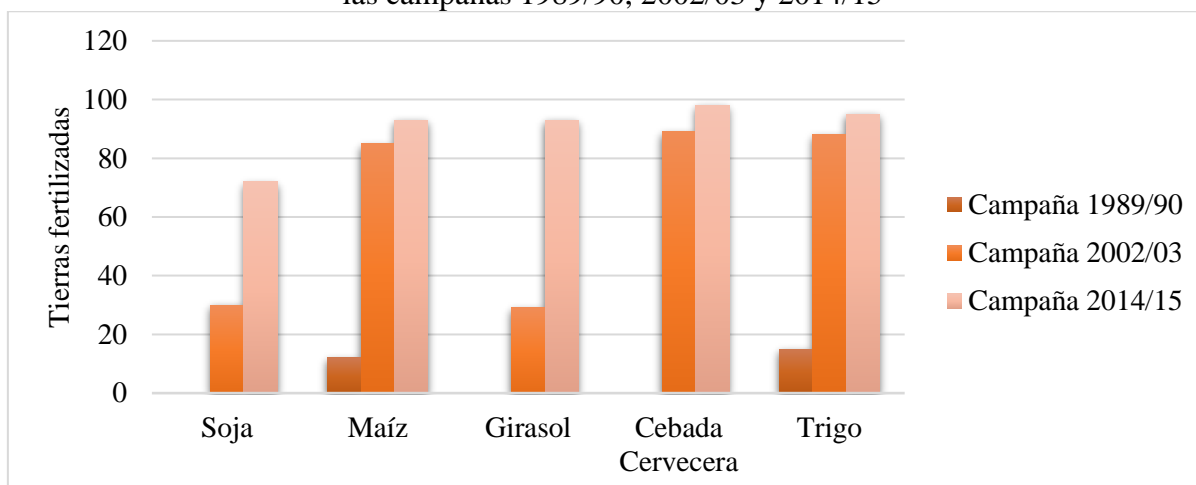
Fuente: Elaboración personal sobre la base de SEQUEIRA et al. (2018).

Resultados

Partiendo del análisis de bases de datos sobre fertilización en la región provistas por el INTA (sin publicar) y de la información obtenida mediante las entrevistas semiestructuradas a técnicos, responsables de agronomías y productores; fue posible definir que, en relación a los fertilizantes mayormente empleados en el partido, el Fosfato Monoamónico (FM), Fosfato Diamónico (FD) y la Urea (UR) poseen mayor relevancia.

Respecto al indicador de balance de N y P, se destaca que no se fertilizó la totalidad de las tierras destinadas a la actividad agrícola. A partir de datos aportados por informantes clave y diversas investigaciones (FAO, 2004; FAC, 2014), se evidenció que hubo una aplicación diferencial de fertilizantes, de acuerdo con el cultivo analizado (Figura 3).

Figura 3. Variación de la fertilización en soja, maíz, girasol, cebada cervecera y trigo durante las campañas 1989/90, 2002/03 y 2014/15



Referencias: tierras fertilizadas en %. Fuente: Elaboración personal en base a las entrevistas, FAO (2004) y FAC (2014).

En la campaña 2002/03, los porcentajes de tierras fertilizadas son mayores que en la de 1989/90 para los cultivos de soja, maíz, girasol y trigo¹. Asimismo, la soja y el girasol se convirtieron en aquellos con el mayor porcentaje de incremento, situación planteada debido a que en 1989/90 ninguno de los dos cultivos era fertilizado. En la campaña 2014/15 se observó un aumento de los porcentajes de fertilización para los cinco cultivos evaluados, en relación a la campaña 2002/03. En este caso, el mayor incremento se da en el cultivo de girasol, seguido por la soja.

Sumado a las diferencias en los porcentajes de áreas fertilizadas, también fue factible determinar variaciones en relación a las dosis de fertilizantes utilizadas (Tabla 1). En este sentido, según los datos analizados, en el período 1989/90-2002/03 existe un aumento promedio del 464,83 %; mientras que, contrariamente, en 2002/03-2014/15 las dosis empleadas disminuyeron en un promedio de 29,41 %.

Por otra parte, se estableció que, en correspondencia directa con la extracción de nutrientes, los valores referidos al rendimiento (Figura 4) y la producción (Figura 5) de los cultivos en cada campaña demostraron notables diferencias.

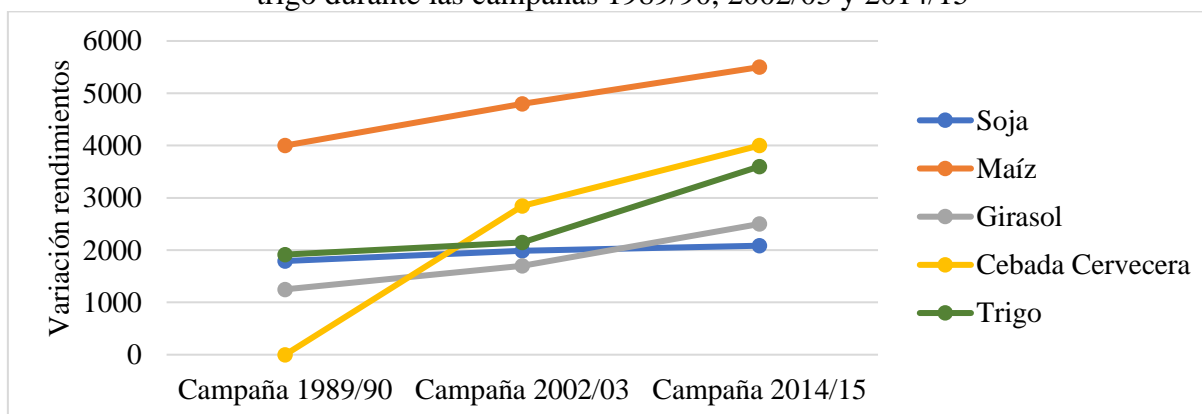
¹ Se tienen en cuenta solo los cuatro cultivos mencionados, ya que en la campaña 1989/90 no hubo superficie sembrada con cebada cervecera

Tabla 1. Dosis de aplicación de fertilizantes en soja, maíz, girasol, cebada cervecera y trigo en las campañas 1989/90, 2002/03 y 2014/15

Cultivos	Fertilizantes	Dosis 1989/90 (kg ha ⁻¹)	Dosis 2002/03 (kg ha ⁻¹)	Dosis 2014/15 (kg ha ⁻¹)
Soja	Fosfato Monoamónico	-	42,5	30
	Fosfato Diamónico	12	85	60
Maíz	Urea	15	127,5	90
	Fosfato Diamónico	-	25,5	18
Girasol	Fosfato Diamónico	-	68	48
	Urea	-	114,75	81
Cebada	Fosfato Diamónico	10	68	48
	Urea	13	114,75	81

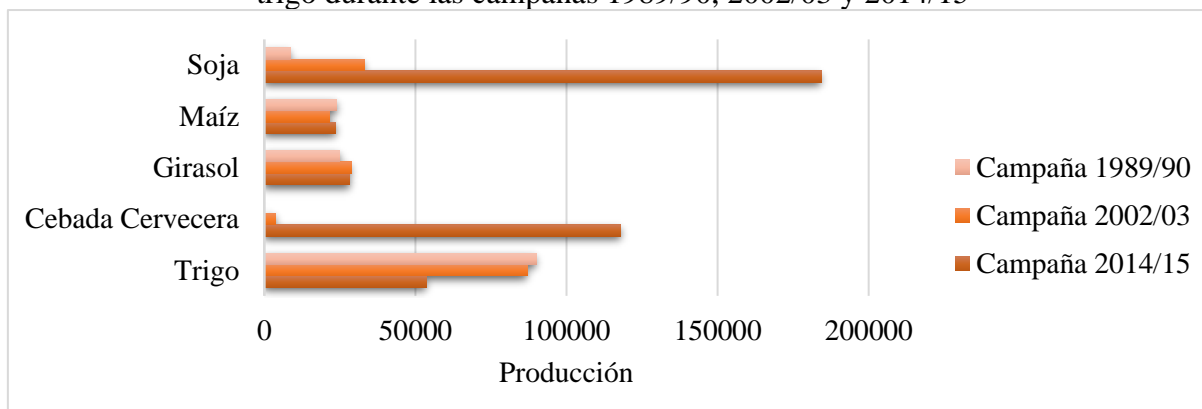
Fuente: Elaboración personal en base a las entrevistas realizadas.

Figura 4. Variación de los rendimientos obtenidos para soja, maíz, girasol, cebada cervecera y trigo durante las campañas 1989/90, 2002/03 y 2014/15



Referencias: variación de los rendimientos en kg ha⁻¹. Fuente: Elaboración personal en base a DAA (2019).

Figura 5. Variación de la producción obtenida para soja, maíz, girasol, cebada cervecera y trigo durante las campañas 1989/90, 2002/03 y 2014/15



Referencias: producción en tn. Fuente: Elaboración personal en base a DAA (2019).

A partir de la evaluación de los estadísticos correspondientes a las IS referidas a las diversas campañas aquí analizadas (Figura 2), puede afirmarse que el área de estudio ha sido alcanzada por un importante proceso de agriculturización; situación evidenciada en los incrementos alcanzados por la superficie destinada a la actividad agrícola (conformada por las áreas cultivadas y cultivables en conjunto), la cual pasó de 619,83 a 1309,34 km² entre 1989/1990-2002/03 y de 1309,34 a 2943,16 km² entre 2002/03-2014/15 (SEQUEIRA et al., 2018). Por su parte, en las Tablas 2 y 3 se presentan los balances de N y P, respectivamente.

Tabla 2. Balance de Nitrógeno por cultivo y su relación con la superficie agrícola total

Campaña	Cultivos/ fuentes de ingreso	Ingreso N (tn)	Egreso N (tn)	Balance (tn)	Balance (tn)/ superficie (km²)
1989/90	Soja	-	499,66	-499,66	-0,81
	Maíz	7,61	391,20	-383,59	-0,62
	Girasol	-	1020	-1020	-1,64
	Cebada cervecera	-	-	-	-
	Trigo	58,35	2061	-2002,65	-3,23
	Precipitaciones y fijación biológica	430	-	430	0,69
TOTAL		495,96	3971,86	-3475,90	-5,61
2002/03	Soja	26,01	1917,30	-1891,29	-1,44
	Maíz	465,14	352,08	113,06	0,08
	Girasol	23,30	1170,96	-1147,66	-0,87
	Cebada cervecera	78,13	56,55	21,58	0,01
	Trigo	2460,54	1994,13	466,41	0,35
	Precipitaciones y fijación biológica	1650,01	-	1650,01	1,26
TOTAL		4703,13	5491,02	-787,89	-0,60
2014/15	Soja	237,06	10708,18	-10471,12	-3,56
	Maíz	694,21	385,49	308,72	0,10
	Girasol	35,25	1152,60	-1117,35	-0,38
	Cebada cervecera	1484,41	1770	-285,60	-0,10
	Trigo	771,81	1228,36	-456,55	-0,15
	Precipitaciones y fijación biológica	9215,30	-	9215,30	3,13
TOTAL		12438,04	15244,63	-2806,6	-0,95

Tabla 3. Balance de Fósforo por cultivo y su relación con la superficie agrícola total

Campaña	Cultivos/ fuentes de ingreso	Ingreso P (tn)	Egreso P (tn)	Balance (tn)	Balance (tn)/ superficie (km²)
1989/90	Soja	-	58,48	-58,48	-0,10
	Maíz	0,88	84	-83,12	-0,13
	Girasol	-	190	-190	-0,31
	Cebada cervecera	-	-	-	-
	Trigo	6,60	387	-380,40	-0,61
	Precipitaciones y fijación biológica	-	-	-	-
TOTAL		7,48	719,48	-712	-1,15
2002/03	Soja	20,98	224,40	-203,42	-0,15
	Maíz	47,05	75,60	-28,55	-0,02
	Girasol	11,39	218,12	-206,73	-0,16
	Cebada cervecera	7,19	11,31	-4,12	-0,003
	Trigo	226,43	374,44	-148,01	-0,11
	Precipitaciones y fijación biológica	-	-	-	-
TOTAL		313,04	903,87	-590,83	-0,45
2014/15	Soja	191,23	1253,28	-1062,05	-0,36
	Maíz	70,22	82,77	-12,55	-0,004
	Girasol	17,23	214,70	-200,17	-0,07
	Cebada cervecera	136,60	354	-217,40	-0,07
	Trigo	71,03	230,65	-159,62	-0,05
	Precipitaciones y fijación biológica	-	-	-	-
TOTAL		486,31	2135,4	-1651,79	-0,56

Tanto el balance de N como el de P fueron negativos en las tres campañas analizadas. Sumado a ello, puede afirmarse que en todos los casos el N presentó un déficit mayor respecto al P. Entre 1989/90 y 2002/03, fue posible notar un decrecimiento del 77,33 % con relación a las tn de N perdidas. En el caso del P, la disminución alcanzó un valor del 17,01 %. Si a esto se lo relaciona con la superficie agrícola, las tn de nutrientes perdidas por km² también demuestran una merma, con valores del 89,30 % para el N y del 60,87 % para el P.

Por su parte, entre 2002/03 y 2014/15 la situación se modificó, y las tn de N y P perdidas volvieron a incrementarse en un 256,22 % y 179,57 %, respectivamente. Lo mismo sucedió con las tn perdidas por unidad de superficie, las cuales manifestaron aumentos del 58,33 % para el N y del 24,44 % para el P.

Respecto a la restitución de nutrientes, aunque en la primera campaña evaluada se repuso el 12,49 % del N, solamente el 13,3 % de ese total fue de origen antrópico

(fertilización), correspondiendo el porcentaje restante al ingreso por precipitaciones y a la fijación biológica de la soja. Para el P, el valor de reposición alcanzó a 1,04 %. En la segunda campaña, resultaron repuestos el 85,65 % del N (64,91 % por fertilización) y el 34,63 % del P. Por último, en la tercera, las reposiciones rondaron en un valor del 81,6 % para el N (26 % por fertilización) y del 22,8 % para el P. En la totalidad de las campañas, la reposición de este último nutriente resultó ser 100 % a través de la aplicación de fertilizantes.

Discusión

Si bien los suelos de las regiones agrícolas más importantes de Argentina se posicionan entre los de mayor producción a nivel mundial, los valores correspondientes a los balances que establecen la relación entre la extracción de nutrientes por parte de los principales cultivos y los aportes realizados a través de fertilizantes continúan siendo deficitarios. Este escenario se debe, en parte, al mal manejo de la fertilización. Generalmente, el control de la nutrición es evaluado considerando solamente el cultivo inmediato sin valorar los siguientes y; además, de manera insuficiente, ya que se estima que sólo es repuesto la tercera parte del total de los nutrientes extraídos por los granos (CASAS, 2011).

A partir de ello, y teniendo en cuenta la creciente relevancia de esta problemática, se han desarrollado gran cantidad de investigaciones a nivel nacional utilizando balances de nutrientes (FLORES et al., 2007; IGLESIAS et al., 2008; MANCHADO, 2010). En tal sentido, la mayor parte de estos trabajos coinciden en confirmar balances negativos de N y P, causados por el notable avance del proceso de agriculturización.

La mencionada situación demuestra la existencia de sistemas productivos insustentables (FLORES y SARANDÓN, 2002), donde los recursos naturales son asignados en función de importantes estímulos económicos y la búsqueda de beneficios en el presente, de modo que el éxito económico basa su sustento en el empobrecimiento del suelo y el aumento de la vulnerabilidad (MANCHADO, 2010). Así, resultan afectados negativamente los niveles de fertilidad, se incrementan los procesos de degradación de los suelos y, por lo tanto, se ve limitado el crecimiento de la producción agrícola nacional (CRUZATE y CASAS, 2012).

Una vez analizados los datos obtenidos, se puede aseverar que la realidad del partido de Benito Juárez no difiere en gran medida de lo acontecido en el resto del país, y sobre todo en la RPArg, donde desde hace muchos años los suelos han demostrado un intenso

agotamiento de nutrientes producto de una prolongada historia agrícola y un notable incremento del proceso de agriculturización (MIRETTI et al., 2012).

En cuanto a los fertilizantes aplicados, los tres principales son el FM, FD y UR, tal como sucede en el resto de Argentina (GARCÍA y SALVAGIOTTI, 2009). Por otra parte, se establece que, en el área de estudio, en coincidencia con las tendencias observadas a lo largo y ancho del país (GARCÍA, 2006; DÍAZ ZORITA y GRASSO, 2016), no se fertiliza la totalidad de las tierras destinadas a agricultura. En su lugar, los valores de aplicación de fertilizantes varían de acuerdo con el cultivo que se analice.

Al plantear una primera aproximación al balance de N y P, se observan resultados deudores, que concuerdan con lo determinado por MANCHADO (2010) en relación al sur de la provincia de Buenos Aires, e IGLESIAS et al. (2008) para la Argentina.

Sumado a lo anterior, la persistencia de balances negativos dentro del área de estudio también reside en el incremento de las producciones alcanzadas. Aunque entre las campañas 1989/90-2002/03 las dosis de aplicación de fertilizantes aumentaron, también lo hicieron los rendimientos de los cultivos y la superficie agrícola (+111,24 %). En consecuencia, existe una mayor extracción de N y P contenidos en los granos, derivando esto en balances que permanecen siendo deficitarios. Por su parte, entre las campañas 2002/03-2014/15, la situación resulta aún más compleja. Complementariamente a un nuevo incremento de la superficie dedicada a la agricultura (+124,78 %) y del rendimiento de los cultivos, existe una disminución en las dosis aplicadas, ocasionando de esta manera que los balances resulten nuevamente afectados.

En este contexto, teniendo en cuenta que los balances simplificados de N y P se constituyen en claros indicadores de la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (FLORES et al., 2007), es posible afirmar que el manejo de la fertilidad en el partido de Benito Juárez compromete el desarrollo de una producción sustentable; pudiendo esto incidir en la generación de diversos tipos de problemáticas.

Por todo lo hasta aquí mencionado, se considera que el presente trabajo resulta de gran importancia, ya que aun cuando las implicancias ambientales negativas de la pérdida sostenida de nutrientes son inmensamente conocidas, y existe una elevada cantidad de investigaciones que las evalúan a nivel de cuenca o región; continúan siendo pocas aquellas que lo hacen en extensiones inferiores, como es el caso de la escala de partido, especialmente en la RPArg. En virtud de ello, el haber trabajado en este nivel permite la obtención de datos

localmente significativos para una zona de importancia en la región, donde las consecuencias ambientales de las transformaciones agrícolas aún no han sido analizadas en profundidad; a lo cual se suma el hecho de que se estaría teniendo en cuenta la totalidad de un área político-administrativa, siendo esto sumamente relevante al momento de transmitir los resultados a aquellos tomadores de decisiones encargados de generar diversas medidas políticas, tendientes a implementar un manejo sustentable de los sistemas agroproductivos.

Conclusiones

- La pérdida de fertilidad como consecuencia de balances de nutrientes negativos, se ha convertido en una de las causas de degradación del suelo más importantes. En el partido de Benito Juárez la sustentabilidad agroproductiva ha resultado fuertemente afectada, ya que a lo largo de las tres campañas evaluadas se produjo un avance de la superficie agrícola, acompañado de resultados deudores respecto a la relación entre la extracción y reposición de N y P; ocasionando la pérdida de nutrientes indispensables para el correcto funcionamiento del sistema.
- El presente estudio pretende actuar como diagnóstico del estado de dos de los principales nutrientes en el partido, y establecer la necesidad de encauzar un manejo sustentable de la fertilización, donde se contemplen los balances de nutrientes en la actividad agrícola a partir del uso de indicadores de sustentabilidad y sensores remotos. Además, con lo propuesto, se espera que esta investigación contribuya al inicio de una adecuada gestión ambiental del partido; y en un futuro próximo, se propone actualizar la información respecto al avance de la superficie destinada a la agricultura y a la situación del N y P en relación a la sustentabilidad de esta actividad.

Referencias

- ABBONA, E.; PRESUTTI, M.; VÁZQUEZ, M.; SARANDÓN, S. (2016) Los sistemas de producción de carne y leche bovina en la Provincia de Buenos Aires ¿conservan los nutrientes del suelo? *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata, v.115, n.2, p.251-263. Disponible en: <http://revista.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/viewFile/744/504>.
- ALVARADO, B.; LAURA, S. (2013) Evaluación de la sustentabilidad de la producción orgánica el café a través de la medición de eficiencia económica con variables ambientales.

Natura@ economía, Lima, v.1, n.2, p.91-110. Disponible en: <http://190.119.243.75/index.php/ne/article/view/1424/1668> >.

BELTRAN, M. J.; BRUTTI, L.; ROMANIUK, R.; BACIGALUPPO, S.; SALVAGIOTTI, F.; SAINZ-ROZAS, H; GALANTINI, J. A. (2016) Calidad de la materia orgánica y disponibilidad de macro y micronutrientes por la inclusión de trigo como cultivo de cobertura. *Ciencia del suelo*, v34, n.1, p.67–79. Disponible en: <<http://www.suelos.org.ar/sitio/volumen-34-numero-1-julio-2016/>>.

CASAS, R. (2011) Los suelos producen cinco veces más con rotación de cultivos. *TodoAgro*, Buenos Aires, feb. 2011. Disponible en: <<https://www.todoagro.com.ar/categoria/agricultura/>>. (Fecha de consulta: 24/01/2021).

COPPENS, J.; MEERS, E.; BOON, N.; BUYSSE, J.; VLAEMINCK, S. The nitrogen and phosphorus budget of Flanders: a tool for efficient resource management. In: I IWA RESOURCE RECOVERY CONFERENCE (RR-2015): BRIDGING TOWARDS THE CHEMICAL INDUSTRY. *Anales* [...]. Ghent, Bélgica: International Water Association, 2015. Disponible en: <<https://biblio.ugent.be/publication/6960285>>.

CRUZATE, G.; CASAS, R. (2012) Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, Buenos Aires, v. 6, p. 7-14. Disponible en: <<http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/issue/IA-LACS-2012-6>>.

DAA - DATOS ABIERTOS AGROINDUSTRIA. *Estadísticas agrícolas*. Buenos Aires, Argentina: Secretaría de Agroindustria, Ministerio de Producción y Trabajo, 2019. Disponible en: <<https://datos.agroindustria.gob.ar>>. (Fecha de consulta: 25/01/2021). Base de datos.

DÍAZ ZORITA, M.; GRASSO, A. Fertilización intensificada de planteos agrícolas. In: XXIV CONGRESO AAPRESID “RESILIAR”. *Resúmenes* [...]. Rosario, Santa Fe, Argentina: Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa, 2016. Disponible en: <<https://www.aapresid.org.ar/blog/tag/xxiv-congreso-aapresid-resiliar/>>.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina*. Italia: Ediciones FAO, 2004. 61 p. Disponible en: <http://www.fao.org/tempref/agl/agll/docs/fertuseargent_s.pdf>.

FERRARI, M. ¿Nuestros actuales sistemas de producción agrícola son ambientalmente sustentables? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, n.48, p.6-10, 2010. Disponible en: <<http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/issue/IA-LACS-2010-4>>.

FERRERAS, L.; TORESANI, S.; FAGGIOLI, V.; GALARZA, C. (2015) Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana Argentina. *Spanish Journal of Soil Science*, Cartagena, España, v. 5, n. 3, p. 227–242. DOI: <<https://doi.org/10.3232/SJSS.2015.V5.N3.04>>.

FERTILIZAR ASOCIACIÓN CIVIL (FAC). *Revista Fertilizar*, Buenos Aires, v. 29, p. 1-36, 2014. Disponible en: <<https://www.fertilizar.org.ar/subida/revistas/29.pdf>>.

FLORES, C.; SARANDÓN, S. (2002) ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización de la Región Pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata, v. 105, p. 52-67. Disponible en: <<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15669>>.

FLORES, C.; SARANDÓN, S.; GARGOLOFF, N. (2007) El balance simplificado de nutrientes como indicador de la sustentabilidad en sistemas hortícolas familiares del partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Brasil, v,2, n.1. Disponible en: <<http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/issue/view/39>>.

GARCÍA, F. (2006) La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. *Informaciones Agronómicas*, Buenos Aires, v. 29, p. 13-16, 2006. Disponible en: <<http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/issue/IA-LACS-2006-1>>.

GARCÍA, F.; SALVAGIOTTI, F. Eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas del Cono Sur de Latinoamérica. In: XVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO. *Anales [...]*. San José, Costa Rica: IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2009.

GUTIÉRREZ CASTORENA, E.; GUTIÉRREZ CASTORENA, M.; ORTIZ SOLORIO, C. (2015) Manejo integrado de nutrientes en sistemas agrícolas intensivos: revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Ciudad de México, v. 6, n. 1, p. 201-215. Disponible en: <<http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n1/v6n1a17.pdf>>.

HALE, R.; GRIMM, N.; VÖRÖSMARTY, C.; FEKETE, B. (2015) Nitrogen and phosphorus fluxes from watersheds of the northeast US from 1930 to 2000: Role of anthropogenic nutrient inputs, infrastructure, and runoff. *Global Biogeochemical Cycles*, Washington D. C., v.29, n. 3, p.341-356. DOI: <<https://doi.org/10.1002/2014GB004909>>.

IGLESIAS, D.; ZANOTTI, N.; ITURRIOZ, G.; COSTA, E.; D'ADAM, H.; WIEDENHÖFER, K.; VASALLO, J. (2008) El balance de nutrientes en la Provincia de La

Pampa y sus implicancias económicas. *Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, Rio de Janeiro, v.9, p.19-30. Disponible en: http://www.redibec.org/IVO/rev9_02.p.

LANTERI, L. *Respuesta a precios del área sembrada de soja en la Argentina. Documento de Trabajo N°2009/44*. Buenos Aires, Argentina: Investigaciones Económicas del Banco Central de la República Argentina, 2009. Disponible en: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/86137/1/612324230.pdf>. (Fecha de consulta: 26/01/2021). Base de datos.

MANCHADO, J. 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. In: XLI REUNIÓN ANUAL DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA DE ECONOMÍA AGRARIA. *Resúmenes* [...]. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina: AAEA - Asociación Argentina de Economía Agraria, 2010.

MEKONNEN, M.; LUTTER, S.; MARTINEZ, A. (2016) Anthropogenic nitrogen and phosphorus emissions and related grey water footprints caused by EU-27' s crop production and consumption. *Water*, Basilea, v.8, n.1, p.1-30. DOI: <https://doi.org/10.3390/w8010030>.

MIRETTI, M. C.; PILATTI, M.; LAVADO, R.; IMHOFF, S. (2012) Historia de uso del suelo y contenido de micronutrientes en argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe (Argentina). *Ciencia del Suelo*, Buenos Aires, v.30, n.1, p.67-73. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11336/84811>.

PENGUE, W. (2001) Expansión de la soja en Argentina. Globalización, Desarrollo Agropecuario e Ingeniería Genética: Un modelo para armar. *Revista Biodiversidad*, v.29, p.7-14. Disponible en: <http://www.grain.org/sp>.

ROY, R. N.; MISRA, R. V.; LESSCHEN, J. P.; SMALING, E. M. *Assessment of soil nutrient balance. Approaches and methodologies*. Italia: Ediciones FAO, 2003. 101 p.

SARANDÓN, S. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. In SARANDÓN, S. (Ed.). *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*. 2002. La Plata, Argentina: Ediciones Científicas Americanas. cap. 20, p. 393-414.

SEQUEIRA, N. D.; VAZQUEZ, P.; SACIDO, M. Expansión agrícola y riesgo de contaminación por plaguicidas, el caso del partido de Benito Juárez. In: II JORNADAS INTERNACIONALES DE AMBIENTE Y IV JORNADAS NACIONALES DE AMBIENTE

(p. 445-448). *Resúmenes* [...]. Tandil, Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2018.

SUTTON, M.; BLEEKER, A.; HOWARD, C.; BEKUNDA, M.; GRIZZETTI, B.; DE VRIES, W.; VAN GRINSVEN, H.; ABROL, Y. ...; ZHANG, F. *Our nutrient world: the challenge to produce more food and energy with less pollution*. Escocia: NERC/Centre for Ecology and Hydrology, 2013.

VAN DER VELDE, M.; FOLBERTH, C.; BALKOVIČ, J.; CIAIS, P.; FRITZ, S.; JANSSENS, I.; OBERSTEINER, M.; SEE, L.; SKALSKÝ, R.; PEÑUELAS, J. (2014) African crop yield reductions due to increasingly unbalanced Nitrogen and Phosphorus consumption. *Global Change Biology*, v.20, n.4, p.1278-1288, 2014. Disponible en: <<https://core.ac.uk/download/pdf/193020806.pdf>>.

VIGLIZZO, E. *Manual AGRO-ECO-INDEX*. Argentina: Ediciones INTA, 2003.

VIGLIZZO, E.; JOBBÁGY, E. *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico ambiental*. Argentina: Ediciones INTA, 2010. 106 p.

VOLANTE, J.; MOSCIARO, M. J.; MORALES POCLAVA, M.; VALE, L.; CASTRILLO, S.; SAWCHIK, J.; TISCORNIA, G.; FUENTE, M.; MALDONADO, I. ...; PARUELO, J. (2015) Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010: Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación. *RIA: Revista de Investigaciones Agropecuarias*, Buenos Aires, v. 41, n. 2, p. 179-191, 2015. Disponible en: <<https://www.redalyc.org/pdf/864/86441580011.pdf>>.

WEN, Z.; SHEN, J.; BLACKWELL, M.; LI, H.; ZHAO, B.; YUAN, H. (2016) Combined applications of nitrogen and phosphorus fertilizers with manure increase maize yield and nutrient uptake via stimulating root growth in a long-term experiment. *Pedosphere*, China, v. 261, p. 62-73, 2016. DOI: <[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60023-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60023-6)>.