

Análisis de la distribución espaciotemporal de la conservación de nutrientes en suelos agrícolas de un sector de la Región Pampeana Argentina

Analysis of the spatial-temporal distribution of nutrient
conservation in agricultural soils in a sector of the
Argentinean Pampas Region

DAIANA Yael DAGA¹  0000-0001-7578-8478

NAHUEL DAVID SEQUEIRA¹  0000-0003-2206-4411

PATRICIA VAZQUEZ¹  0000-0002-4209-4901

¹ CONICET. CESAL, FCH, UNICEN, Tandil, Argentina.

Resumen

Los suelos agrícolas de la Región Pampeana Argentina (RPArg) exhiben desequilibrios nutricionales y una exigua diversidad cultivada (DC) debido a la predominancia de monocultivos y escasa fertilización. El propósito del estudio es conocer la relación entre la conservación de nutrientes y la agricultura en la Pampa Austral (PA), una de las regiones agroproductivas más importantes de la RPArg. Los objetivos son: a) analizar la distribución espacial y temporal (1989-90, 2002-03 y 2019-20) de los balances de N, P, K y S en los suelos agrícolas de la PA; y b) diseñar y aplicar un Índice de Conservación de Nutrientes (ICN), como indicador de la sustentabilidad de los agroecosistemas, contemplando los balances de nutrientes y la DC. Metodológicamente, se emplearon datos antecedentes, se desarrollaron entrevistas y se utilizó un sistema de información geográfica para mapear y analizar la distribución de los resultados. Hacia el interior de la PA, el ICN aumentó en el tiempo, debido a una mejor fertilización desde la segunda campaña, y al incremento de la DC en la última. La prevalencia de desequilibrios nutricionales y la necesidad de fortalecer la DC, motorizan a profundizar el estudio para aportar a la elaboración de estrategias que permitan una agricultura sustentable.

Palabras clave: mapeo de nutrientes; diversidad cultivada; fertilización; balance aparente; sustentabilidad.

Fechas • Dates

Recibido: 2022.03.28
Aceptado: 2022.05.23
Publicado: 2022.06.06

Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Daiana Yael Daga
daianadaga@conicet.gov.ar

Abstract

The agricultural soils of the Argentinean Pampean Region (RPArg) have exhibited nutritional imbalances and low crop diversity (DC) due to the predominance of monocultures and low fertilization. The purpose of the study is to understand the relationship between nutrient conservation and agriculture in the Southern Pampas (PA), one of the most important agro-productive regions of the RPArg. The objectives are: a) to analyse the spatial and temporal distribution (1989-90, 2002-03 and 2019-20) of the balances of N, P, K and S in agricultural soils of the PA; and b) to design and apply a Nutrient Conservation Index (ICN), as an indicator of the sustainability of agroecosystems, considering nutrient balances and DC. Methodologically, previous information were used, interviews were developed and a geographical information system was used to map and analyse the distribution of the results. Within the PA, the ICN increased over time, as a result of improvements in fertilization from the second campaign onwards, and the increase in DC in the last campaign. The prevalence of nutritional imbalances and the need to strengthen the DC, motivate to deepen the study to contribute to the development of strategies to achieve a sustainable agriculture.

Keywords: nutrients mapping; crop diversity; fertilization; apparent balance; sustainability.

1. Introducción

En las últimas décadas, el requerimiento de fibras y alimentos se incrementó vertiginosamente debido al crecimiento de la población mundial y a cambios en sus hábitos de consumo, incluyendo dietas más calóricas (Kopittke *et al.*, 2019). Para satisfacer esta demanda, la agricultura se ha intensificado y expandido rápidamente (Zhang *et al.*, 2020), aunque sin contemplar las consecuencias ambientales de dichos procesos. Uno de los efectos negativos más relevantes es la degradación de los suelos, modificando su capacidad para proveer diversos servicios ecosistémicos, entre los que se destaca el suministro de nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos dentro de la producción agrícola (Burbano-Orjuela, 2016). Por esta razón, diversas prácticas agrícolas contemporáneas han convertido a esta actividad en una de las que mayores presiones ejerce sobre el recurso suelo (Cerdà *et al.*, 2022), poniendo en peligro su propia sustentabilidad, y con ello, la provisión mundial de alimentos (Pla, 2006).

En consecuencia, gran parte de los suelos agrícolas del mundo exhiben desequilibrios nutricionales, no solo debido a una deficiencia de nutrientes, reportada en muchos países del sur de Asia y África, sino también a excesos que causan serios problemas, como en ciertas regiones de Europa y Estados Unidos (van Dijk *et al.*, 2016; Metson *et al.*, 2017; Gebresamuel *et al.*, 2021; Paramasivam *et al.*, 2021). Mientras que la carencia impacta en la pérdida de fertilidad y el rendimiento de los cultivos, contribuyendo a la inseguridad alimentaria, ya que el suelo sostiene (directa o indirectamente) más del 95 % de la producción mundial de alimentos (Gardi *et al.*, 2015); el exceso aporta al deterioro de la calidad del agua y a las emisiones de efecto invernadero (FAO, 2016).

La producción agrícola de la Región Pampeana Argentina (RPArg) se realizó durante casi un siglo aprovechando la fertilidad natural de sus tierras (Berardo, 2004), con prácticamente un nulo aporte de nutrientes por medio de fertilizantes hasta la década de 1960. La adopción de rotaciones entre agricultura y ganadería en la región, alternando cultivos anuales y pasturas, permitió mantener la tasa de pérdida de fertilidad en niveles moderados (García y Díaz-Zorita, 2015). Sin embargo, hacia la década de 1990, comenzó a manifestarse un proceso de agriculturización, basado en el doble cultivo anual realizado en grandes extensiones monoculturales (Viglizzo y Jobágy,

2010), que contribuyó a acelerar las pérdidas; deviniendo esto en la aparición de desequilibrios nutricionales, generalmente asociados a déficits.

En este contexto, empezó a tomar relevancia el conocimiento acerca de cómo la calidad del suelo se ve afectada por el manejo de los nutrientes. Una de las herramientas más empleadas para ello es el balance de nutrientes, que consiste en la diferencia entre ingresos y egresos de nutrientes en un sistema definido en el espacio y el tiempo (Manchado, 2010); pudiendo ser negativo (egreso>ingreso), positivo (egreso<ingreso) o neutro (egreso=ingreso). Si bien el consumo de fertilizantes en el país se incrementó 17 veces en los últimos 30 años, pasando de 300 000 t en 1990 hasta 5,3 millones en 2020, los balances de nutrientes continúan siendo mayoritariamente deficitarios (Jobbágy *et al.*, 2021); tal como demuestran diversos estudios (Manchado, 2010; Abbona, 2017; Cruzate y Casas, 2017; Díaz de Astarloa y Pengue, 2018; Grasso y González-Sanjuan, 2018). En estos trabajos, se enfatiza el análisis de N, P y S, ya que además de ser los más aplicados, son los que registran mayores deficiencias. Asimismo, los autores destacan la necesidad de evaluar el K debido a que, a pesar de su importancia para la fisiología vegetal, se trata de un nutriente muy escasamente repuesto en función de los altos niveles que presenta en los suelos de la región. Por otra parte, se expone que los resultados alcanzados varían tanto espacial como temporalmente, de acuerdo a las aptitudes de los suelos, condiciones climáticas y prácticas de manejo históricas y actuales, entre otros factores.

Lo hasta aquí mencionado demuestra la necesidad de avanzar hacia una agricultura sustentable, siendo uno de sus pilares la conservación de la dotación de nutrientes del suelo, la cual no solo debe lograrse a partir del ingreso genuino de nutrientes por fertilización, sino también mediante una correcta planificación de la diversidad cultivada (DC; Abbona, 2020). Esto último contribuiría al ingreso de N por fijación biológica (incorporando leguminosas), al aumento en la disponibilidad de nutrientes (favorecida por la mayor actividad biológica con presencia de hongos micorrízicos o bacterias) y a su retención (demanda de nutrientes sostenida en el tiempo que evite salidas indeseadas). Sin embargo, debido al aumento de la agricultura continua y al predominio de escasos cultivos, en la región se observa una marcada reducción de la DC.

La Pampa Austral (PA), en el sur de la RPArg, constituye un reflejo de la problemática descripta, demostrando hacia su interior las consecuencias ambientales de un notable proceso de agriculturización (Sequeira y Tula, 2018; Vazquez *et al.*, 2019; Sequeira *et al.*, 2021a, b), que no se expresan de igual manera en todos los partidos (cada uno de los territorios en los que se subdivide la provincia de Buenos Aires) y varían en el tiempo. Consecuentemente, se hipotetiza que: a) en las últimas décadas, los suelos agrícolas de la PA exhiben mejoras en la fertilización, pero continúan presentando desequilibrios nutricionales, cuya magnitud varía conforme al partido analizado; y b) la conservación de los nutrientes en los suelos decrece, con diferencias de acuerdo al partido, debido a su insuficiente reposición y de la exigua DC presente en los agroecosistemas.

Así, los objetivos planteados en el presente estudio son: a) analizar la distribución espacial y temporal (1989-90, 2002-03 y 2019-20) de los balances de N, P, K y S en los suelos agrícolas de la PA; y b) diseñar y aplicar un Índice de Conservación de Nutrientes (ICN), como indicador de la sustentabilidad de los agroecosistemas, contemplando los balances de nutrientes y la DC, en los cortes temporales citados. Ambos objetivos se sostienen en la utilización de sistemas de información geográfica (SIG) como herramientas de análisis espacial y temporal idóneas en este tipo de estudios ambientales y para la gestión estratégica de los recursos naturales (Vázquez-Rodríguez, 2018). De esta manera, el trabajo parte de un abordaje integrador de aspectos agronómicos y geo-

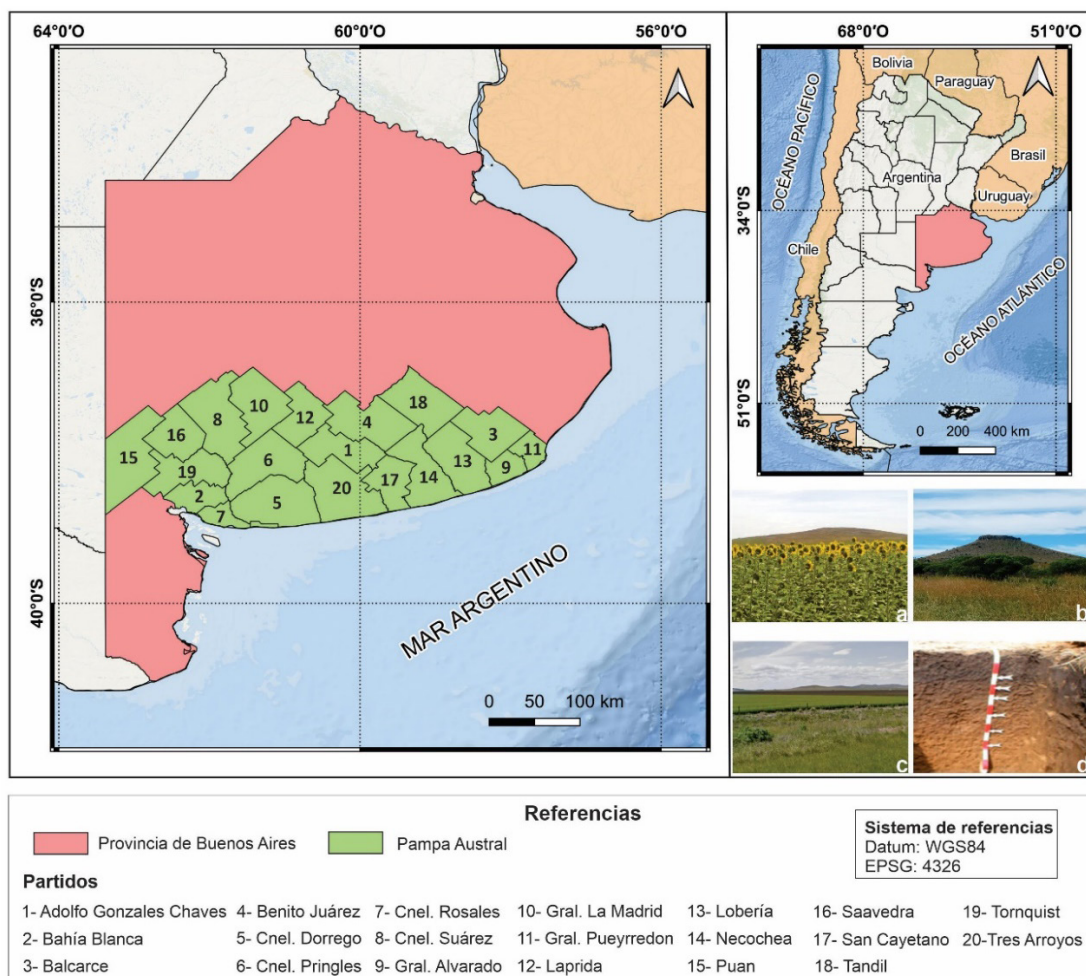
gráficos, el cual se vuelve cada vez más necesario al momento de estudiar cuestiones que atañen a la degradación del recurso suelo. Esto se fundamenta en que el análisis de la variación espacial (y también temporal) de factores determinantes de la calidad del suelo, como son los nutrientes, es clave para entender la resiliencia del recurso y planificar la aplicación de estrategias apropiadas para un manejo sustentable (Rodrigo-Comino *et al.*, 2018).

2. Metodología

2.1. Descripción del área de estudio

La RPArg representa una de las áreas agroproductivas más importantes del mundo, beneficiada por suelos fértiles (siendo los suelos del orden Molisoles los más representativos, principalmente el Argiudol Típico, según la clasificación Soil Taxonomy de USDA, 2006) y factores climáticos favorables (Díaz de Astarloa y Pengue, 2018). El clima es templado pampeano húmedo, con precipitaciones entre 1200 y 700 mm, que decrecen en sentido nordeste-sudoeste (Matteucci, 2012). Las temperaturas medias anuales varían entre 20 y 14 °C, disminuyendo hacia el sur. Según la clasificación de Viglizzo *et al.* (2002), considerando la calidad de los suelos y las precipitaciones, la PA es una de las cinco regiones que la componen (Figura 1).

Figura 1. Ubicación del área de estudio.



Fotografías del área de estudio: a. actividad agrícola en área periserrana del sistema de Ventania; b. biodiversidad presente en un sector del sistema de Tandilia; c. actividad agrícola en llanura característica de la región interrumpida por sierras del sistema de Tandilia; d. perfil de un suelo Argiudol Típico, representativo del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

La región abarca 21 partidos del centro sur de la provincia de Buenos Aires, ocupando 82 530 km², y se caracteriza por ser una pradera llana con suave declive al mar, pero atravesada por cordones serranos, Tandilia y Ventania, con alturas en torno a los 500 y 1000 msnm y pendientes pronunciadas con porcentaje promedio de entre el 10 y 20 %, respectivamente. El relieve serrano le confiere una biodiversidad distintiva, siendo el pastizal templado la vegetación típica, cuya comunidad dominante es el flechillar y alberga más de 400 especies de plantas vasculares y una gran riqueza de endemismos (Frangi y Barrera, 1996). Al igual que el resto de la RPArg, manifiesta una fuerte tendencia a la expansión e intensificación agrícola gracias a la aptitud de gran parte de sus suelos para cultivos anuales (especialmente, trigo, soja, cebada cervecera, maíz, girasol y sorgo), ligada a la aparición de problemas ambientales.

2.2. Balance aparente de nutrientes

Considerando los tres niveles planteados por FAO (2003) para estimar balances de nutrientes, este estudio se focalizó en la escala micro (partido) y meso (PA). De los 21 partidos que conforman la PA, se incluyeron todos a excepción de Monte Hermoso, ya que no presenta desarrollo agrícola. La elección de las fechas se fundamentó en que en 1989-90 comenzó a evidenciarse un notable avance de la agricultura dentro de la RPArg; en 2002-03 cobró relevancia la siembra directa, profundizando la expansión de la agriculturización; y la campaña 2019-20 conforma la situación más actual, contemplando la disponibilidad de datos oficiales. Por otro lado, se definieron tres límites, uno lateral (perimetral), determinado por la escala, siendo los análisis efectuados tanto a nivel de partido como a nivel regional; y otros dos límites, inferior y superior, tomando como base el balance a nivel de superficie planteado por Oenema et al. (2003).

2.2.1. Flujo de ingreso

El flujo de ingreso (FI) quedó conformado por los nutrientes que entran al sistema a través de los fertilizantes minerales aplicados a los cultivos, y para la soja, además, se consideró un ingreso de N por fijación biológica correspondiente al 50 % de la extracción, según valores para la región (Cruzate y Casas, 2012; Collino et al., 2015; Abbona, 2017). Inicialmente, se recopiló y analizó información acerca de los fertilizantes más empleados y las dosis aplicadas para las tres campañas. Estos datos fueron extraídos de informes técnicos, como los realizados por Fertilizar Asociación Civil, la Subsecretaría de Mercados Agropecuarios del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) y la Bolsa de Cereales de Rosario. Asimismo, se efectuaron entrevistas semiestructuradas a técnicos de agronomías y de Agencias de Extensión Rural del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria emplazadas en el área. Las dosis promedio obtenidas fueron utilizadas de forma equivalente para el cálculo del FI de nutrientes en todos los partidos.

En segundo lugar, se obtuvo información respecto de la superficie de aplicación, considerando que los cultivos no son fertilizados en su totalidad. Por esta razón, se debieron estimar porcentajes promedio de fertilización para las tres campañas, a través de datos proporcionados por los entrevistados y otros extraídos de censos nacionales agropecuarios (CNA, 2002, 2018) e informes técnicos (FAO, 2004; FAC, 2014). La superficie total sembrada con cada cultivo para los partidos durante las campañas estudiadas, se obtuvo del Portal de Datos Abiertos del MAGyP. Por último, la cantidad de nutrientes aportada por cada fertilizante se adquirió de fichas técnicas de los insumos.

2.2.2. Flujo de egreso

El flujo de egreso (FE) remitió a los nutrientes extraídos por la cosecha. Así, se trata de un balance aparente ya que no contempló pérdidas por lixiviación, escurrimiento, erosión o volatilización, aportes por residuos de cultivos, sedimentación o deposición atmosférica. Pese a ello, es considerado un indicador adecuado para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas, puesto que la fertilización química conforma la vía de reposición de mayor importancia (Roy *et al.*, 2003).

Los cultivos contemplados fueron cebada cervecera, girasol, maíz, soja, sorgo y trigo, ya que se constituyen como los principales del agro argentino, representando el 96 % de la superficie sembrada con cereales y oleaginosas en el país, según datos del CNA (2018). Por su parte, los nutrientes seleccionados (N, P, K y S) son los más utilizados al momento de efectuar balances, como lo comprueban estudios realizados tanto a nivel internacional (Hanrahan *et al.*, 2019; Pacheco *et al.*, 2021) como nacional (Ciampitti y García, 2008; Cruzate y Casas, 2012; García y Díaz-Zorita, 2015; Abbona, 2017; Cruzate y Casas, 2017; Díaz de Astarloa y Pengue, 2018; Sequeira y Tula, 2018; Darwich, 2019; Sequeira *et al.*, 2021a). La producción alcanzada por cada uno de los cultivos para los partidos en análisis durante las tres campañas se obtuvo del Portal de Datos Abiertos del MAGyP. Luego, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica de antecedentes (INPOFOS, 1999; Berardo, 2004; Ciampitti y García, 2007; Fontanetto y Keller, 2011; Cruzate y Casas, 2012, 2017), acerca de la cantidad de N, P, K y S extraídas por los granos producidos.

2.2.3. Balance de nutrientes y reposición

A partir de la diferencia entre el FI y FE de cada uno de los nutrientes se obtuvieron, entonces, balances aparentes parciales (para cada cultivo) (1) y totales (cada partido) (2), en las tres campañas estudiadas (nivel micro). Además, se adquirió el balance aparente total para la PA (3) en las distintas campañas (nivel meso).

$$(1) \quad BAL_{ik}^n = FI_{ik}^n - FE_{ik}^n$$

$$(2) \quad BAL_{TOTi}^n = \sum BAL_{ik}^n$$

$$(3) \quad BAL_{TOTi}^{PA} = \sum BAL_{TOTi}^n$$

Donde BAL_{ik}^n es el balance anual del nutriente i (N, P, K, S), para el cultivo k (cebada cervecera, girasol, maíz, soja, sorgo, trigo), correspondiente al partido n ($t \text{ año}^{-1}$); FI_{ik}^n es el FI anual del nutriente i , para el cultivo k , del partido n ($t \text{ año}^{-1}$); FE_{ik}^n es el FE anual del nutriente i , del cultivo k , para el partido n ($t \text{ año}^{-1}$); BAL_{TOTi}^n es el balance total anual del nutriente i correspondiente al partido n ($t \text{ año}^{-1}$), calculado por la sumatoria de los balances parciales de los cultivos; BAL_{TOTi}^{PA} es el balance total anual del nutriente i para la PA ($t \text{ año}^{-1}$), estimado por la sumatoria de los balances totales de los partidos.

Cabe aclarar que, con el fin de referirse al balance total anual (a nivel de partido y PA) de cada nutriente como un indicador individual, se los denominó: balance aparente de N (BAN), balance aparente de P (BAP), balance aparente de K (BAK) y balance aparente de S (BAS). Posteriormente, se estimó el porcentaje de reposición total anual de cada nutriente a nivel micro (4), y a nivel meso (5), en las tres campañas estudiadas.

$$(4) \quad R_{TOT_i}^n = (FI_{TOT_i}^n \times 100\%) \div FE_{TOT_i}^n$$

$$(5) \quad R_{TOT_i}^{PA} = (FI_{TOT_i}^{PA} \times 100\%) \div FE_{TOT_i}^{PA}$$

Donde $R_{TOT_i}^n$ es la reposición total anual del nutriente i para el partido n (%); $FI_{TOT_i}^n$ es el FI total anual del nutriente i del partido n (t año⁻¹), calculado por la sumatoria del FI parcial de los cultivos; $FE_{TOT_i}^n$ es el FE total anual del nutriente i para el partido n (t año⁻¹), calculado de la sumatoria del FE parcial de los cultivos; $R_{TOT_i}^{PA}$ es la reposición total anual del nutriente i para la PA (%); $FI_{TOT_i}^{PA}$ es el FI total anual del nutriente i para la PA (t año⁻¹), estimado por la sumatoria del FI total de los partidos; $FE_{TOT_i}^{PA}$ es el FE total anual del nutriente i para la PA (t año⁻¹), alcanzado por la sumatoria del FE total de los partidos.

Finalmente, para la elaboración de mapas temáticos se confeccionó una matriz de datos originales (MDO) con los valores referidos al balance total anual y a la reposición anual, a nivel micro, para las tres campañas. Luego, la MDO fue ingresada a un SIG (QGIS 3.16.1) para integrar la tabla de atributos de la capa de información concerniente a los partidos estudiados. Las variables fueron clasificadas en seis (balance) y siete (reposición) categorías, donde colores más oscuros reflejan las peores situaciones, mediante el método de intervalos iguales, que divide el rango de valores totales en subrangos de igual tamaño. La obtención de una sola escala por cada variable, facilita el análisis temporal de cada una, pudiendo no solo visualizar áreas de mayor y menor reposición de nutrientes y con balances más o menos alejados del valor neutro, sino también la evolución de la situación de cada partido en dos períodos de tiempo (1989-90/2002-03 y 2002-03/2019-20). En circunstancias puntuales, se modificaron manualmente los valores de inicio de determinada categoría para que coincida con el dato original.

2.3. Índice de Conservación de Nutrientes

La elaboración del ICN se basó en la integración de los indicadores BAN, BAP, BAK, BAS y de un indicador denominado DC (a nivel micro), a partir de la obtención de puntajes de clasificación espacial (PCE). Se trata de un procedimiento de análisis multivariado que se sostiene en la estandarización de las variables utilizadas para la generación de un puntaje resumen que puede ser presentado cartográficamente, lo cual facilita el análisis de la distribución espacial (Buzai y Galbán, 2020). Siguiendo los lineamientos de Buzai y Baxendale (2012) y Buzai (2014), se partió de la MDO confeccionada anteriormente, con los datos absolutos de los balances totales anuales de cada nutriente. A esta se le anexó los valores del indicador DC de cada partido para las tres campañas, que parte de la superficie ocupada por los distintos cultivos. Así, se calculó la proporción de cada cultivo respecto de la superficie total sembrada y luego se seleccionó el cultivo principal (el de mayor superficie); siendo el porcentaje ocupado por este el valor alcanzado por el indicador. Cuanto más alto es el porcentaje que representa el cultivo, menos diversidad se advierte.

Posteriormente, se estandarizaron los valores de todos los indicadores de la MDO, creando una matriz de puntaje estándar (MDE) mediante el cálculo de distintos tipos de puntaje, transformando los datos originales de cada variable a valores adimensionales dentro de determinado rango (0 a 100), para poder establecer comparaciones. Aquellos indicadores referidos al balance de nutrientes son considerados variables de objetivo, ya que se trata de llegar a un valor óptimo, en este caso, un balance neutro (valor 0). El puntaje a aplicar se denomina puntaje de objetivo (6, 7), pudiendo variar en un rango que oscila de 0 a 100, donde el 0 representa el valor más alejado al

valor objetivo (peor situación), y 100 refiere al valor objetivo (mejor situación). Contrariamente, el indicador DC conforma una variable de costo (a mayor valor, peor situación). Con el propósito de integrar las variables en un único índice, compartiendo una misma direccionalidad (a mayor valor, mejor situación), las variables de costo se convirtieron en variables de beneficio, aplicando el puntaje omega inverso (8).

$$(6) \quad PO = 100 - |X - vo| \times UA$$

$$(7) \quad UA = 100 \div |vo - vmd|$$

$$(8) \quad \omega_{inv} = \left(\frac{M-X}{M-m} \right) \times 100$$

Donde PO es el puntaje de objetivo (adimensional); X es el dato original a ser estandarizado; vo es el valor objetivo; vm es la unidad de ajuste (adimensional); vmd es el valor más distante hacia el valor objetivo; ω_{inv} es el puntaje omega inverso (adimensional); M es el dato mayor de la serie; X es el dato original a ser estandarizado; m es el dato menor de la serie.

Al tratarse de un estudio temporal, se destaca que el valor más distante (en el PO) y los datos mayores y menores de la serie (en el ω_{inv}) para cada uno de los indicadores, no correspondieron a los encontrados para cada campaña; sino que se debió tomar como base a aquellos valores máximos y mínimos que representen el rango más amplio en las tres campañas, y el valor más distante encontrado, permitiendo contemplar todos los datos, tal como sugiere Velázquez (2019). Entonces, para BAN y BAP se tomó como base la campaña 1989-90, para BAK y BAS la campaña 2019-20, y para DC el valor máximo (M) refirió a la campaña 2002-03 y el mínimo (m) a la 2019-20.

A modo de ejemplo, para estandarizar el valor del BAN de 2019-20 del partido General La Madrid, se aplicó la ecuación (7) $UA = 100 \div |0 - (-16\ 441,33)|$. vo es 0, ya que es el valor neutro de un balance y vmd corresponde al valor más alejado de ese valor neutro que, considerando los BAN obtenidos para todos los partidos en las tres campañas, corresponde al alcanzado por el partido de Tres Arroyos en la campaña 1989-90. A partir de este resultado se empleó la ecuación (6) $PO = 100 - |-2605,61 - 0| \times 0,01$, donde X es el BAN obtenido por General La Madrid. Respecto del indicador DC, se puede citar el ejemplo del partido Coronel Dorrego para la campaña 2019-20. Se aplicó la ecuación (8) $\omega_{inv} = [(93,86 - 36,35)/(93,86 - 24,46)] \times 100$, donde M es el valor de DC obtenido por Bahía Blanca en 2002-03, m el alcanzado por Necochea en 2019-20 y X es el valor original de Coronel Dorrego.

Una vez aplicado el puntaje omega inverso se obtuvo el PCE, que se redefinió a partir de aquí como ICN (9).

$$(9) \quad ICN = \frac{\sum PO + \omega_{inv}}{n}$$

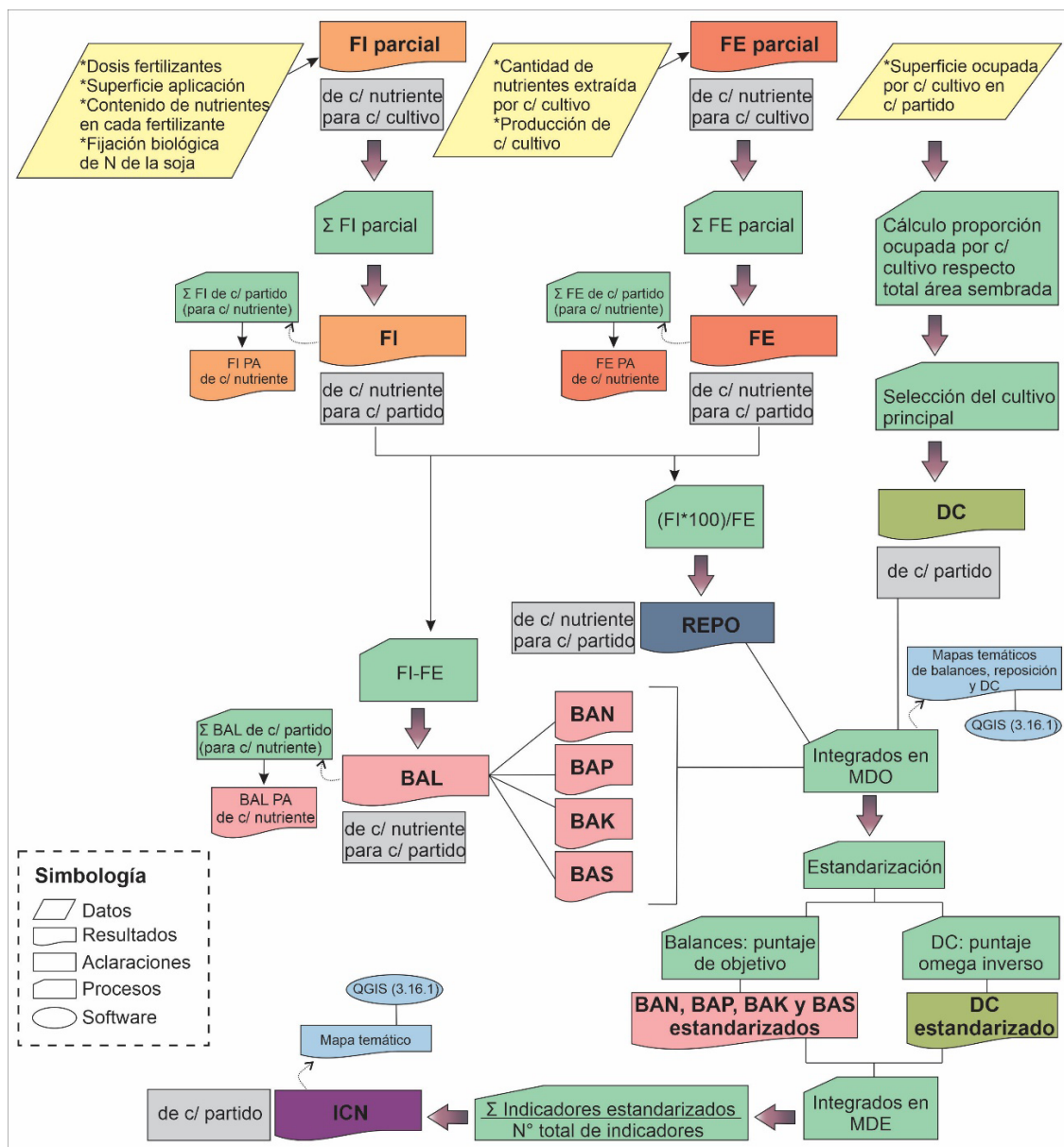
Donde ICN es el Índice de Conservación de Nutrientes (adimensional); n es el total de indicadores (variables).

Los valores de DC (sin estandarizar) e ICN de cada partido para cada campaña fueron ingresados al QGIS (3.16.1). Para la elaboración de mapas temáticos, el indicador DC se clasificó mediante el método de intervalos iguales en cinco categorías, donde se identificó con un color particular al cultivo principal observado en cada campaña, exhibiendo en colores más oscuros las peores

situaciones. El ICN fue clasificado en cinco categorías con un rango de 0,00 a 100,00 (a mayor valor, mejor situación) mediante el método de intervalos definidos, ya que facilita las comparaciones y ayuda en la interpretación de resultados (Humacata, 2013). Las categorías se denominaron: muy baja (0,00 a 20,00), baja (20,01 a 40,00), media (40,01 a 60,00), alta (60,01 a 80,00) y muy alta (80,01 a 100,00). La categoría denominada muy baja no representa a ninguno de los datos obtenidos, pero fue incluida en la leyenda para completar el rango.

A continuación, en la Figura 2, se expone un diagrama de flujo que muestra los pasos metodológicos desarrollados en el presente apartado.

Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología empleada



FI (flujo de ingreso); FE (flujo de egreso); PA (Pampa Austral); DC (diversidad cultivada); REPO (reposición); BAL (balance); BAN (balance aparente de N); BAP (balance aparente de P); BAK (balance aparente de K); BAS (balance aparente de S); MDO (matriz de datos originales); MDE (matriz de puntaje estándar); ICN (Índice de Conservación de Nutrientes). Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados

3.1. Balance aparente de nutrientes

3.1.1. Flujo de ingreso

El FI de nutrientes quedó conformado por la fertilización mineral aplicada a la superficie sembrada con los distintos cultivos y, en el caso de la soja, se adicionó la fijación biológica de N (50 % del valor de extracción). De acuerdo a la información recopilada y analizada, los fertilizantes más utilizados en la región a lo largo de las tres campañas fueron el fosfato diamónico (FDA; 18-20-0) y la urea (46-0-0), sumándose el sulfato de amonio (21-0-0-24S) en la última. En cuanto a la superficie sembrada, a nivel de PA pasó de abarcar 2 715 200 ha en la campaña 1989-90 a comprender 3 345 900 y 3 700 795 ha en 2002-03 y 2019-20, respectivamente. En cuanto a la distribución de los cultivos, mientras que en las dos primeras campañas más del 60 % del área sembrada estuvo representada por el trigo, en la última la soja y el trigo ocuparon las posiciones más elevadas, con valores menores al 30 % cada uno.

En este aspecto, cabe destacar que no fueron fertilizadas la totalidad de tierras dedicadas a la agricultura, sino que esta práctica varió según el cultivo y la campaña. Así, mientras que algunos mostraron un bajo porcentaje de fertilización durante 1989-90, otros como el girasol, la soja y el sorgo no se fertilizaron. Posteriormente, si bien en las campañas restantes se registró un incremento de la superficie fertilizada, estos tres cultivos siempre se mantuvieron en el nivel de fertilización más bajo. En adhesión a las discrepancias en los porcentajes de áreas fertilizadas, las dosis de aplicación también cambiaron de acuerdo a la campaña y al cultivo. Se evidenció un aumento de la aplicación de urea y FDA a lo largo de las tres campañas, con valores promedio del 17,86 y 50,67 % en el primer período (1989-90/2002-03), y del 11,11 y 49,21 % en el segundo (2002-03/2019-20), respectivamente. Con relación al sulfato de amonio, aunque no se aplicó en las dos primeras campañas, comenzó a utilizarse en la tercera. Las mayores dosis de fertilizantes las recibieron el trigo y la cebada cervecera en la primera y segunda campaña, y el maíz y el trigo en la tercera. Por su parte, el girasol, la soja y el sorgo, además de haber sido los de menor superficie fertilizada, se establecieron como aquellos con las dosis más bajas.

Respecto del FI total anual, en la PA ascendió de manera continua a lo largo del tiempo, pasando de 14 195,03 t año⁻¹ en la primera campaña, a 153 512,38 t año⁻¹ en la segunda y 227 360,44 t año⁻¹ en la tercera. Además, se observó que mientras el N demostró el mayor ingreso en las tres campañas, seguido del P, el S solo ingresó en la última y el K en ninguna. En cuanto a aquellos cultivos que más contribuyeron al FI total anual de nutrientes, el trigo ocupó el primer lugar en las tres campañas, con valores del 70,19, 80,80 y 32,91 %, respectivamente; y la soja el segundo, llegando a representar el 15,18, 6,83 y 24,02 %. Por su parte, el tercer lugar fue para el maíz en 1989-90 (9,63 %), y la cebada cervecera en 2002-03 (5,52 %) y 2019-20 (22,31 %).

3.1.2. Flujo de egreso

Con relación al FE, es de destacar que la producción de granos en la PA pasó de 6 244 410 t año⁻¹ en la primera campaña a 6 515 106 t año⁻¹ en la segunda, llegando a las 10 658 802 t año⁻¹ en 2019-20. Sumado a esto, el trigo fue el cultivo más producido en la PA, representando más del 59 % del total en las dos primeras campañas, y compartiendo los niveles más altos junto con el maíz y la cebada cervecera en la tercera. El FE total anual en la PA mostró un incremento continuo, pasan-

do de 199 371,69 t año⁻¹ en la primera campaña, a 223 734,16 t año⁻¹ en la segunda y 393 087,74 t año⁻¹ en la última. Por otra parte, en todas las campañas el mayor egreso se produjo en relación al N, seguido del K, el P y el S; y los valores alcanzados por cada uno se profundizaron constantemente. En la campaña 1989-90 los cultivos que más aportaron al FE total anual de nutrientes fueron el trigo (58,56 %), el girasol (21,26 %) y el maíz (13,58 %); mientras que en 2002-03 estos lugares fueron ocupados por el trigo (59,80 %), el girasol (17,19 %) y la soja (13,01 %), y en 2019-20 por la soja (33,72 %), el trigo (23,02 %) y la cebada cervecera (17,80 %).

3.1.3. Balance de nutrientes y reposición

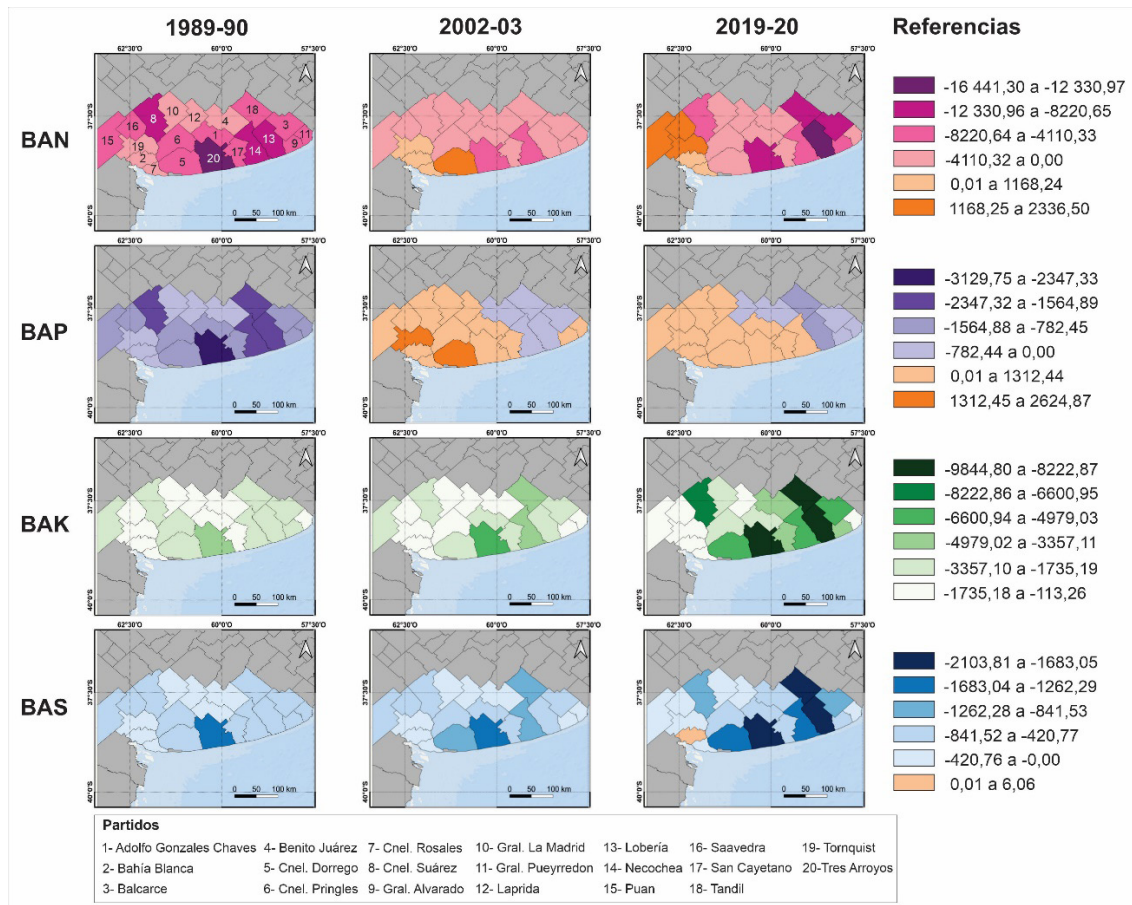
A partir de los FI y FE totales anuales, se alcanzaron los valores de los diversos balances de nutrientes. A nivel de PA, los de la campaña 1989-90 resultaron negativos, con valores de -118 879,68, -22 675,90, -33 580,34 y -10 040,74 t año⁻¹ para BAN, BAP, BAK y BAS, respectivamente. Para 2002-03 el BAP fue positivo (5569,13 t año⁻¹), mientras que el BAN, BAK y BAS se mantuvieron negativos, alcanzando las -26 434,69, -38 422,58 y -10 933,64 t año⁻¹. El mismo escenario ocurrió en 2019-20, donde el BAP fue de 1223,64 t año⁻¹, y el BAN, BAK y BAS llegaron a las -76 284,95, -75 453,20 y -15 212,76 t año⁻¹, respectivamente. Por consiguiente, en el período 1989-90/2002-03 la pérdida total de nutrientes disminuyó de 185 176,66 a 70 221,78 t año⁻¹; mientras que, en 2002-03/2019-20 volvió a incrementarse hasta las 165 727,30 t año⁻¹. Respecto de la primera campaña, la pérdida de nutrientes se debió al cultivo de trigo (57,66 %), seguido por el girasol (22,89 %) y el maíz (13,88 %). Luego, el principal responsable en 2002-03 fue el girasol (51,11 %), acompañado por la soja (26,52 %) y el trigo (13,90 %). Además, en esta campaña se evidenció un exceso de N y P en trigo y cebada cervecera. Por último, para 2019-20, los que más aportaron a los balances negativos fueron la soja (47,02 %), el girasol (17,15 %) y el maíz (14,16 %), a la vez que el trigo y la cebada cervecera exhibieron excedentes de P.

La distribución de los balances totales anuales dentro de la PA se visualiza en la Figura 3. En 1989-90 Tres Arroyos registró las pérdidas más elevadas en todos los nutrientes y no se evidenciaron balances positivos. Durante la campaña 2002-03 los BAK y BAS fueron negativos en todos los partidos, siendo Tres Arroyos el más impactado; en tanto que los BAN y BAP exhibieron valores negativos y positivos. La mayor carencia de N se observó en Necochea y Tres Arroyos, y el exceso más elevado en Coronel Dorrego. En el caso del BAP, no se detectaron diferencias notables entre los partidos respecto de las pérdidas, mientras que los excedentes mostraron discrepancias, siendo más importantes en Tornquist y Coronel Dorrego. En último lugar, la campaña 2019-20 mostró BAK negativos en la totalidad de los partidos, resultando Lobería, Tres Arroyos y Tandil los más perjudicados; mientras que los BAN, BAP y BAS alcanzaron tanto valores negativos como positivos. En cuanto al BAN, Lobería reveló el mayor déficit y Puan, Tornquist y Saavedra los excesos más altos. Al respecto del BAP, Lobería y Tandil manifestaron las carencias más importantes, en tanto que los excedentes no mostraron amplias diferencias entre los partidos. Por su parte, Lobería, Tres Arroyos y Tandil expusieron las pérdidas más significativas en el BAS y Bahía Blanca fue el único con valores positivos.

Puntualizando en la variación de cada indicador a lo largo del tiempo se destaca que, en el caso del BAN, la mayoría de los partidos perfeccionaron sus valores durante el primer período, y algunos transformaron las pérdidas en excesos. En cambio, en el segundo, algunos empeoraron su situación. Respecto del BAP, entre 1989-90 y 2002-03 se observaron importantes modificaciones, donde gran parte de los partidos comenzaron a evidenciar excesos, y los que permanecieron con valores negativos, en general, mejoraron su situación. Para 2019-20, dos de los partidos que

registraban los excesos más elevados mejoraron sus balances, mientras que dos de los deficitarios profundizaron dicho estado. El BAK registró mejoras únicamente en dos partidos durante el primer período y en otros el escenario se agravó. Esto siguió profundizándose en el segundo período, evidenciándose mejoras solo en un partido. Finalmente, el BAS exhibió tendencias similares al BAK, donde dos partidos demostraron mejoras en el primer período, y otros presentaron balances más negativos; y en el segundo solo dos mejoraron, mientras que varios profundizaron la pérdida de S.

Figura 3. Balance total anual en partidos de la Pampa Austral



Valores expresados en $t\ a\ a\ o^{-1}$; BAN (balance aparente de N); BAP (balance aparente de P); BAK (balance aparente de K); BAS (balance aparente de S). Fuente: Elaboración propia.

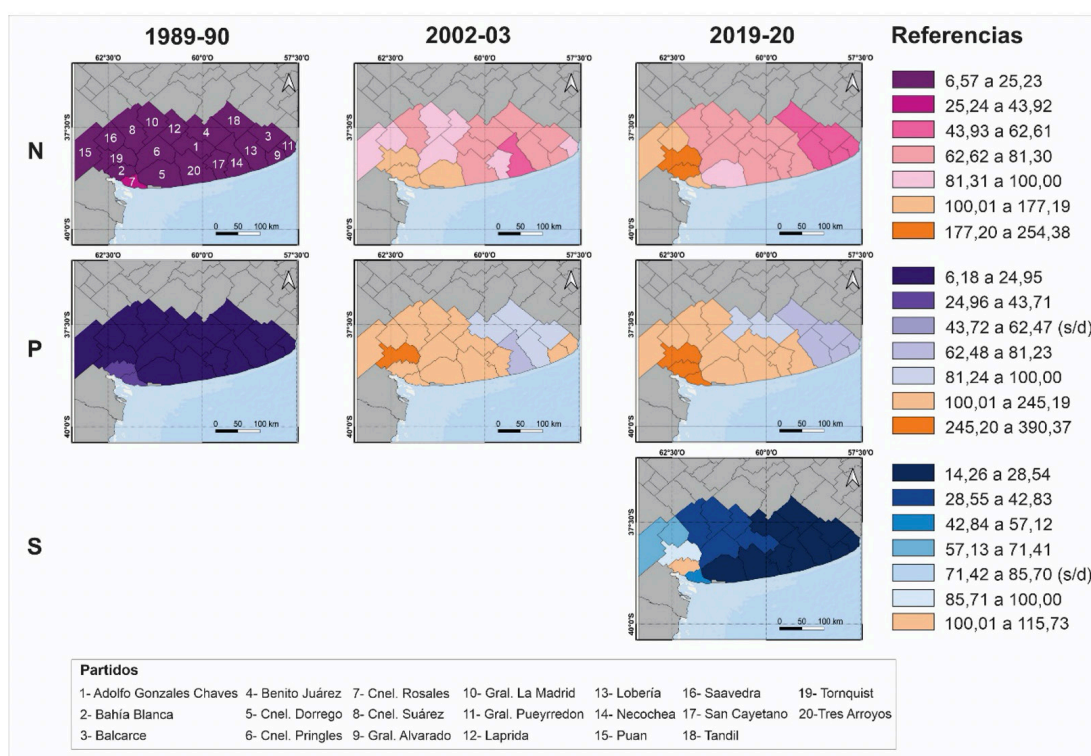
La reposición total anual de nutrientes en la PA, considerando la fijación biológica de N, fue del 7,12 % para 1989-90, 68,61 % en 2002-03 y 57,84 % en 2019-20. En la primera y segunda campaña solo se repuso N y P, con valores del 9,02 y 9,63 % en 1989-90 y 82,10 y 120,84 % en 2002-03, respectivamente. Hacia 2019-20, además de reponerse un 70,20 % de N y un 102,95 % de P, se sumó una reposición del 24,33 % de S. El K no fue repuesto en ninguna campaña.

En lo referente a la distribución espacial (Figura 4), durante 1989-90 la mayoría de los partidos exhibieron los valores más bajos de reposición de N, resaltando Tres Arroyos con un 6,57 %. Coronel Rosales presentó una mejor situación, aunque ni siquiera superó el 25,62 %. La misma tendencia se observó en relación al P, donde casi todos los partidos revelaron porcentajes muy bajos, destacándose Tandil con un 6,18 %. Los valores de reposición más elevados se concentraron

en Coronel Rosales y Bahía Blanca, alcanzando 36,22 y 24,99 %, respectivamente. Para 2002-03 la menor reposición de N se apreció en Necochea (60,32 %), y existieron cuatro partidos con reposiciones mayores al 100 %, siendo Bahía Blanca (136,83 %) el caso más relevante. En relación al P, Necochea presentó nuevamente el menor valor (80,68 %), y se observó una gran cantidad de partidos con excesos, destacándose Tornquist (390,37 %).

En 2019-20 General Alvarado, General Pueyrredon, Lobería, Balcarce y Tandil manifestaron los valores de reposición de N menos relevantes, destacándose el primero con un 48,12 %; mientras que Bahía Blanca (254,38 %) y Tornquist (251,71 %) registraron los excesos más altos. Respecto del P, las reposiciones menos importantes se evidenciaron en los mismos partidos, exhibiendo General Alvarado el menor valor (63,30 %). Asimismo, más de la mitad de los partidos mostraron aplicaciones por encima del 100 %, siendo Bahía Blanca (383,94 %), Tornquist (373,43 %) y Coronel Rosales (261,73 %), aquellos con valores más elevados. En esta campaña también se suman las reposiciones de S, donde la mitad de los partidos revelaron porcentajes muy bajos, sobresaliendo Lobería con 14,26 %. Sumado a esto, solo Bahía Blanca expuso un excedente (115,73 %).

Figura 4. Reposición total anual en partidos de la Pampa Austral



Valores expresados en %; R (reposición); s/d (sin datos), no existen datos que conformen dicha categoría, pero se incluye para no afectar la escala. Fuente: Elaboración propia.

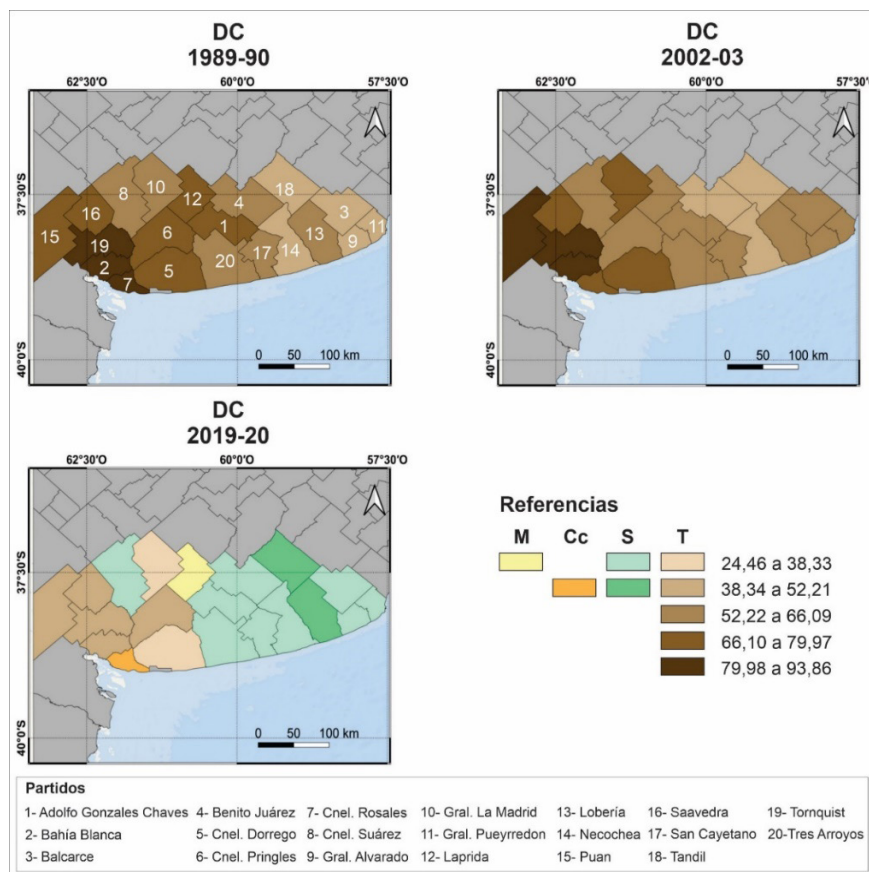
Focalizando en la variación de las reposiciones a lo largo del tiempo, la mayoría de los partidos mejoraron su situación respecto del N en el primer período, y cuatro pasaron de valores muy bajos a presentar excesos. Para el segundo período, un solo partido manifestó mejoras, y diez empeoraron su situación (ocho disminuyeron su reposición y dos incrementaron los excesos). Con relación al P, entre 1989-90 y 2002-03 la mayor parte de los partidos pasó de valores muy bajos de reposición a superar el 100 %, mientras que solo cinco revelaron una mejoría. Entre 2002-03 y 2019-20, no se observó ninguna evolución favorable, sino que dos partidos incrementaron sus ex-

cesos y tres disminuyeron su porcentaje de reposición. En líneas generales, considerando la nula reposición de S en las primeras dos campañas, puede afirmarse la existencia de una mejora en la situación de todos los partidos, a excepción de uno que presentó valores por encima del 100 %.

3.2. Índice de Conservación de Nutrientes

Se obtuvieron los resultados concernientes a la distribución espacial del indicador DC por campaña (Figura 5). Para las dos primeras, este quedó conformado únicamente en relación con el cultivo de trigo, ya que este fue el predominante en el conjunto de los partidos. En 1989-90 la menor DC (valores más altos de la escala) se registró en Coronel Rosales (93,62 %), Bahía Blanca (90,82 %) y Tornquist (81,01 %), en tanto que en 2002-03 se destacaron Bahía Blanca (93,86 %), Tornquist (88,53 %) y Puan (83,93 %). Por otra parte, los cultivos principales de la última campaña variaron según el partido analizado, pudiendo ser trigo, maíz, soja o cebada cervecera. La situación más desfavorable del indicador se manifestó en Bahía Blanca (50,46 %), Coronel Pringles (50,43 %), Puan (45,25 %), Saavedra (44,62 %) y Tornquist (41,84 %) (asociada al trigo); Tandil (41,33 %) y Lobería (41,17 %) (soja); y Coronel Rosales (44,52 %) (cebada cervecera).

Figura 5. Diversidad cultivada en partidos de la Pampa Austral



Valores expresados en %; DC (diversidad cultivada); M (maíz); Cc (cebada cervecera); S (soja); T (trigo). Fuente: Elaboración propia.

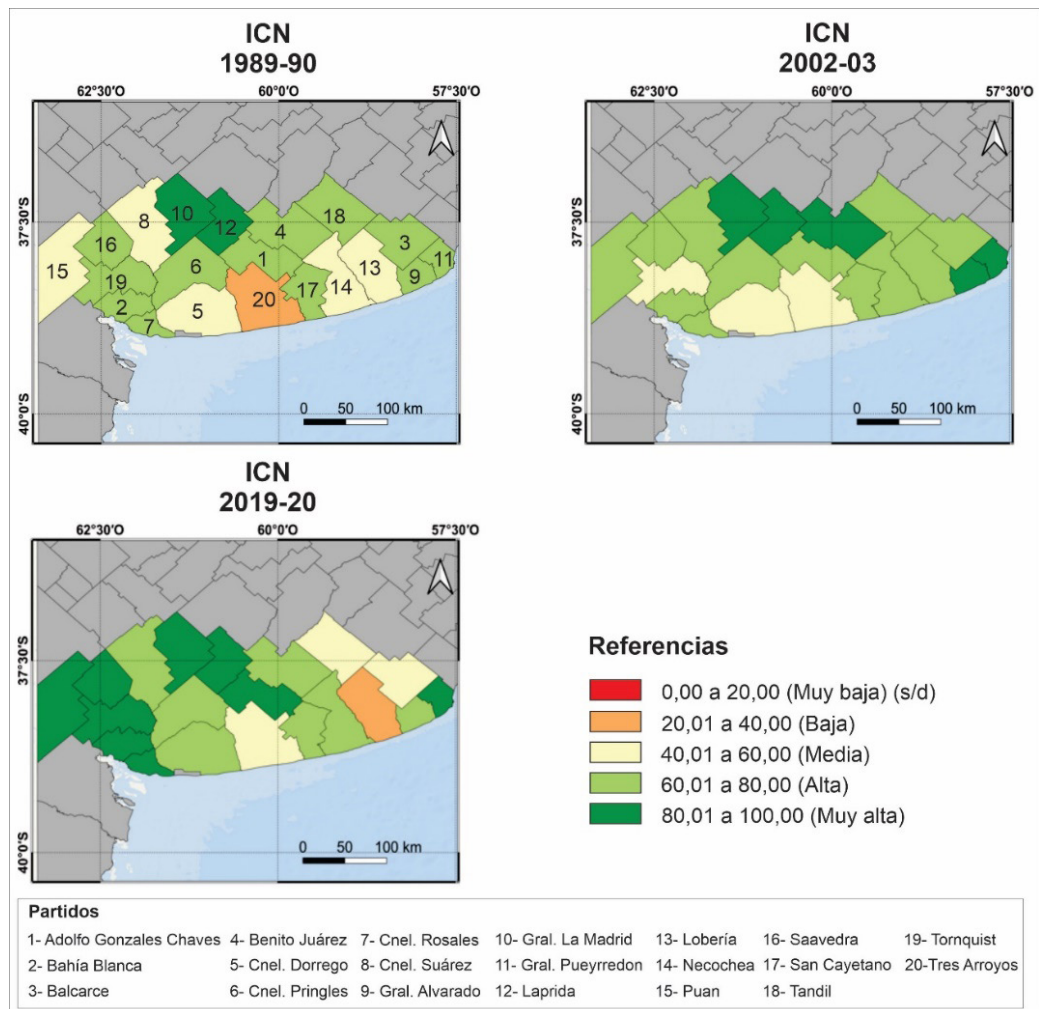
Haciendo hincapié en la variación temporal del indicador DC, en el primer período se evidenciaron cambios en la mitad de los partidos, donde cinco empeoraron y otros cinco mejoraron. Para el segundo período, se observó una clara mejora del indicador en prácticamente todos los

partidos y solo uno se mostró sin modificaciones. Asimismo, se evidenció el predominio de la soja respecto del trigo.

Posteriormente, tomando como base la integración de los indicadores BAN, BAP, BAK, BAS y DC (previamente estandarizados), se alcanzaron los resultados correspondientes a la distribución espacial del ICN para las tres campañas (Figura 6). En 1989-90 Tres Arroyos fue el partido que demostró el menor valor de conservación de nutrientes, ubicándose en la categoría baja. Por otra parte, en 2002-03 la peor situación la representó Coronel Dorrego, conformando la categoría media. Para este primer período, Tornquist fue el único partido que disminuyó de categoría, pasando de alta a media.

Respecto de lo sucedido en el segundo período, se evidenciaron mayores mermas de la conservación en varios partidos, pasando Benito Juárez y General Alvarado de la categoría muy alta a alta, Tandil y Balcarce de alta a media y Lobería de alta a baja; siendo este último el único que reflejó el peor valor de conservación para 2019-20.

Figura 6. Índice de Conservación de Nutrientes en partidos de la Pampa Austral



Los valores son adimensionales; ICN (Índice de Conservación de Nutrientes); s/d (sin datos), no existen datos que conformen dicha categoría, pero se incluye para no afectar la escala. Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

4.1. Balance aparente de nutrientes

Los fertilizantes más empleados en la PA a lo largo de las tres campañas coinciden con la tendencia en el consumo observado en el resto de las regiones agrícolas del país, destacándose el predominio del FDA y la urea, y una posterior incorporación del sulfato de amonio (Cruzate y Casas, 2012, 2017; FAO, 2004; Grasso y González Sanjuan, 2018).

Sin embargo, los productos no se aplican en la totalidad del área agrícola, sino que esto varía de acuerdo al cultivo y la campaña. En este sentido, García y Díaz-Zorita (2015) plantean que la agricultura argentina se desarrolló confiando en la alta fertilidad natural de sus suelos, casi sin la utilización de fertilizantes hasta los años '90. Hacia la década del 2000, García (2006) afirma que en el país ya se fertilizaba aproximadamente el 40 % de la superficie con oleaginosas y casi un 90 % del maíz y el trigo. Por último, en años recientes, Grasso y González Sanjuan (2018) mencionan que llegó a superarse el 80 % del área fertilizada para los cereales y el girasol, aunque la soja se mantuvo en porcentajes menores. En coincidencia con estas tendencias, la PA demuestra un incremento continuo de la superficie fertilizada para todos los cultivos. Asimismo, para 2019-20, los cereales y el girasol reflejan la fertilización más alta, seguidos por la soja.

Conforme al incremento de la superficie fertilizada y de las dosis de aplicación, se observa un aumento del FI total anual de la PA a lo largo del tiempo; representado mayormente por el N, que resulta responsable de alrededor del 80 % de los ingresos en las tres campañas. Además, esta situación también se ve influenciada por el crecimiento de la superficie sembrada, el cual es del 23,23 % para el período 1989-90/2002-03 y del 10,61 % para 2002-03/2019-20. Respecto de los cultivos que más influyen en el FI total anual de todas las campañas, se destacan el trigo y la soja. En el caso del primero, esto se debe a la amplia superficie sembrada y fertilizada, y a las altas dosis aplicadas. Por su parte, la relevancia de la soja se fundamenta en los notables ingresos por fijación biológica de N en las tres campañas, a lo que se suma la importante superficie destinada a su cultivo en la última. Estos resultados se corresponden con los obtenidos para el país por Cruzate y Casas (2017), donde afirman que los mayores ingresos de fertilizantes se deben al trigo y la soja, al mismo tiempo que destacan que la participación de esta última responde a la dimensión del área sembrada. Por otro lado, se advierte un aumento de los valores máximos de N y P a lo largo del tiempo.

El FE total anual de la PA evidencia un comportamiento semejante al de ingreso, manifestando un crecimiento continuo en las sucesivas campañas, y un rol fundamental del N, que en este caso es el nutriente más extraído. Tal incremento puede explicarse en base al aumento de la producción, como consecuencia de una mayor superficie sembrada y un rendimiento más elevado de los cultivos, tal como aseveran Cruzate y Casas (2012). En las primeras dos campañas el trigo y el girasol son los que más contribuyen al FE total anual debido a que reportan una mayor producción, y al mismo tiempo resultan dos de los cultivos más extractivos. Para la tercera, el trigo queda en segunda posición por debajo de la soja, ya que esta, aunque no es la más producida, es el cultivo que extrae mayor cantidad de nutrientes (sobre todo N y K). Lo mencionado se ajusta a las afirmaciones de Abbona (2017) para Buenos Aires y Cruzate y Casas (2012, 2017) en Argentina, quienes determinaron que el trigo y la soja son algunos de los cultivos con mayor impacto sobre el egreso de nutrientes. A su vez, se evidencia que los niveles máximos de FE total anual de los cuatro nutrientes se incrementan a lo largo del tiempo.

Una vez analizados los valores concernientes al FI y FE total anual, puede afirmarse que los balances aparentes de nutrientes en la PA arrojan resultados negativos para todas las campañas, a excepción del BAP en 2002-03 y 2019-20. Esto no difiere en gran medida de lo ocurrido en el país (Cruzate y Casas, 2012; González-Sanjuan *et al.*, 2013; Cruzate y Casas, 2017; Díaz de Astarloa y Pengue, 2018; Grasso y González-Sanjuan, 2018; Darwich, 2019), y principalmente en el resto de la RPArg (Manchado, 2010; Abbona, 2017; Sequeira y Tula, 2018; Sequeira *et al.*, 2021a), donde el modelo productivo actual continúa degradando la reserva de nutrientes, producto de una incesante historia agrícola y un notorio crecimiento del proceso de agriculturización con escasa aplicación de fertilizantes (Grasso y González-Sanjuan, 2018; Magra *et al.*, 2020). Asimismo, este escenario se refleja en distintas áreas agrícolas del mundo (van Dijk *et al.*, 2016; Gebresamuel *et al.*, 2021; Paramasivam *et al.*, 2021), donde la expansión de la producción se desarrolló sin una correcta planificación de estrategias que favorezcan la conservación de nutrientes, propiciando el empobrecimiento y la degradación de los suelos.

Profundizando en lo ocurrido con el BAP, ReTAA (2020) y Sainz-Rozas *et al.* (2012) consideran que en el sur y sudeste de la provincia de Buenos Aires los suelos son pobres en P, requiriendo una amplia adopción de la práctica de fertilización y uso de dosis más elevadas respecto de otras áreas con mayores niveles de P nativo, lo cual explicaría la existencia de balances positivos dentro de la PA; tal como asegura Abbona (2017). Con relación a esto, Hanrahan *et al.* (2019) destacan que la aplicación de fertilizantes en exceso puede acumularse en los perfiles del suelo y dirigirse hacia cuerpos de agua superficiales y/o subterráneos, contaminando estos recursos; por lo que resaltan la importancia de los balances de nutrientes para estimar potenciales pérdidas. En cuanto al indicador que más contribuye a la pérdida de nutrientes se destaca el BAN, presentando los resultados más negativos en 1989-90 y 2019-20, y ocupando el segundo lugar en 2002-03 (por balances positivos en algunos cultivos), siendo responsable del 64,20, 46,03 y 37,64 % de las pérdidas totales para la PA, respectivamente. Esto se explica porque, si bien el N configura el nutriente que más contribuye al FI total anual, también se destaca en el FE total anual.

Al mismo tiempo que registran los aportes más elevados al FI total anual, el trigo y la soja realizan, junto al girasol, las mayores contribuciones al FE total anual. En este sentido, debido a que los ingresos no logran compensar los volúmenes extraídos, estos tres cultivos se constituyen como aquellos que generan los balances negativos más relevantes. Particularizando en cada nutriente, es de destacar que se registran excesos de N y P en trigo y cebada cervecera en la segunda campaña y de P para los mismos cultivos en la tercera. Según Abbona (2017), estos cultivos requieren de una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo, por lo que las aplicaciones de fertilizantes más elevadas derivan en balances más equilibrados e incluso positivos; tal como también encontraron García y González Sanjuan (2010) y Manchado (2010) en distintos suelos agrícolas de Argentina.

En función de lo mencionado hasta el momento, es posible afirmar que la reposición total anual de los nutrientes en la PA mejora en las últimas dos campañas respecto de 1989-90, logrando alcanzar el 69 % en 2002-03 y el 58 % en 2019-20. Con relación a cada nutriente, el N y P son los únicos que se reponen en la totalidad de las campañas, siendo este último superior al primero; concordando con lo detectado por García y González-Sanjuan (2010), Abbona (2017), Cruzate y Casas (2012, 2017), Díaz de Astarloa y Pengue (2018) y ReTAA (2020), tanto a nivel país como para la provincia de Buenos Aires. Por otra parte, es notable la discrepancia entre algunos nutrientes. Así, mientras que el P supera el 100 % de reposición en 2002-03 y 2019-20, no se registra el ingreso de K en ninguna de las campañas y el S solo es repuesto en la última. La situación de K responde, según FAO (2004) y Grasso y González Sanjuan (2018), a que los fertilizantes potásicos

son de uso muy restringido en la Argentina, debido a que muchos de los suelos (tal es el caso de la RPArg) poseen un alto contenido nativo del nutriente, quedando su aplicación circunscripta solo a algunos cultivos regionales; mientras que el S recientemente se está comenzando a aplicar en los suelos agrícolas de la región.

Hacia el interior de la PA, en las últimas dos campañas, las reposiciones más elevadas generan balances menos negativos de N y P, pero también balances positivos en algunos partidos. De esta forma, siguen existiendo desequilibrios nutricionales, aunque evidenciándose mejorías para N y P en el primer período (los desequilibrios más importantes son menores a los de la primera campaña), y solo para P en el segundo. La distribución en el espacio de los excesos de estos nutrientes para 2002-03 y 2019-20 concuerda con la amplia superficie de trigo y/o cebada cervecera que demuestran ciertos partidos. En este aspecto, los excedentes máximos de N aumentan levemente en ese período y los de P disminuyen. Asimismo, se destacan balances cada vez más deficitarios de K y S a lo largo del tiempo, por la nula reposición del primero en todas las campañas y la escasa y única reposición del segundo en la última. A pesar de esto, logra distinguirse un partido con exceso de S, debido a que es aquel con mayor superficie destinada a trigo y maíz, siendo estos los únicos cultivos fertilizados con sulfato de amonio.

Finalmente, puede afirmarse que, si bien el incremento en el uso de fertilizantes (dosis y superficie fertilizada) y el aporte por fijación biológica mejora la relación entre la entrada de nutrientes y su remoción por la producción de granos, esto resulta insuficiente para alcanzar balances que demuestren un adecuado mantenimiento de la fertilidad de los suelos agrícolas de la región (García y Díaz-Zorita, 2015).

4.2. *Índice de Conservación de Nutrientes*

A la vista de las distintas áreas ecológicas presentes en la RPArg, delimitadas por Viglizzo et al. (2002), es factible afirmar que la distribución espacial de los cultivos en la región no es homogénea. En tal aspecto, los autores aseveran que la mayor parte de los suelos de la PA son aptos para los cultivos anuales, especialmente el trigo. Esta situación puede corroborarse mediante los resultados obtenidos, particularmente en las dos primeras campañas donde este cereal es predominante, llegando a representar entre el 41 y el 93 % de la superficie sembrada de algunos partidos. No obstante, a lo largo del tiempo esto se modificó, ya que en 2019-20 se advierte un decrecimiento de la superficie sembrada con trigo en la mayoría de los partidos, alcanzando un máximo del 50,46 % de representatividad. Según Abbona (2020), esto comienza a evidenciarse en la provincia de Buenos Aires a partir de la campaña 2004-05, y puede obedecer a un aumento de la superficie consignada a soja u otros cultivos de verano (Volante et al., 2015) o a cebada cervecera (Abbona, 2020); explicado por variaciones climáticas, falta de incentivos para la siembra y pérdida de rentabilidad, entre otros factores. De igual forma, ninguno de los cultivos restantes abarca más del 45 % del área sembrada en cada partido.

En virtud de lo indicado, puede asegurarse que se evidencia una mayor DC en la última campaña, tal como demuestra Abbona (2020) al establecer que la PA manifiesta más diversidad que otras regiones de la provincia de Buenos Aires, tanto en relación con la cantidad de cultivos como con la proporción que estos ocupan dentro de cada partido; conformando esto un escenario positivo, puesto que una distribución inequitativa de la superficie agrícola implica una disminución de la diversidad. Sin embargo, sería necesario continuar fortaleciendo la DC, en el marco de un escenario de agriculturización bajo un modelo homogeneizador de la producción; incluyendo

estrategias tales como la implementación de policultivos, rotaciones, cultivos de cobertura, entre otras.

La distribución espacial del ICN constata que aquellos partidos que presentan balances más cercanos al equilibrio y una DC mayor, exhiben valores más altos, mientras que los que manifiestan balances más extremadamente positivos o negativos y una DC menor, demuestran resultados más bajos. Sumado a ello, se destaca que con el transcurso del tiempo el ICN presenta fluctuaciones al interior de la PA. De manera general, en el primer período se observa que solo un partido disminuye su conservación (de alta a media), la mayoría (once) se mantiene en categorías alta (ocho), media (uno) y muy alta (dos), y un importante número (ocho) mejora pasando tres a muy alta, cuatro a alta y uno a media; evidenciándose una situación más favorable. En el segundo, cinco partidos bajan su nivel de conservación pasando a categorías baja (uno), media (dos) y alta (dos), la mayoría (ocho) permanece en categorías alta (cuatro), media (uno) y muy alta (tres), y gran parte (siete) mejora a muy alta (seis) y alta (uno). Si bien en este período existen más partidos que disminuyen su conservación de nutrientes, también se incrementa en un 80 % la cantidad de partidos con conservación muy alta, observándose una nueva mejoría. Por otra parte, es posible afirmar que la mejora exhibida en el primer período podría deberse, principalmente, a los menores desequilibrios nutricionales de N y P en 2002-03; mientras que, en el segundo, respondería sobre todo al crecimiento de la DC en 2019-20.

Finalmente, es de destacar que el análisis de cuestiones agronómicas tales como los balances de nutrientes y la diversidad cultivada desde un abordaje geográfico, partiendo del mapeo de su variación espaciotemporal, facilitó la comprensión de una problemática que incluye múltiples variables, como es la conservación de los nutrientes en los suelos, tanto a nivel local como regional; siendo ello indispensable al momento de planificar estrategias para el manejo sustentable de este recurso.

5. Conclusiones

En las últimas décadas, los suelos agrícolas de la PA demuestran mejoras en su fertilización, basadas en el incremento de la superficie fertilizada y las dosis de aplicación, y del importante aumento del aporte de N a través de la fijación biológica por parte de la soja. Pese a esto, continúan manifestándose desequilibrios nutricionales, que varían hacia el interior de la región, los cuales quedan representados por la presencia de balances negativos y positivos; confirmando así la primera hipótesis planteada. Estos desequilibrios presentan mejoras para algunos nutrientes en el primer período que, en conjunto con una cierta estabilidad de la DC, contribuyen a un aumento del ICN. Si bien en el segundo período los desequilibrios empeoran para tres de los cuatro nutrientes analizados, esto es compensado por un notable incremento de la DC, derivando en una nueva mejora del ICN; refutando la segunda hipótesis presentada.

Resulta evidente que para avanzar hacia una agricultura sustentable es necesario desarrollar una correcta planificación de la fertilización y un diseño de los agroecosistemas que fomente la diversificación de cultivos, el mantenimiento de la vegetación espontánea y la inclusión de rotaciones y cultivos de cobertura; permitiendo así conservar la dotación de nutrientes del suelo. Finalmente, aunque el trabajo posibilitó obtener datos actualizados sobre la variación temporal y espacial de la situación de los nutrientes en un sector relevante de una de las regiones agroproductivas más importantes del mundo, sería de interés profundizar la investigación con el objetivo de adquirir

información más detallada, aportando al desarrollo de estrategias enmarcadas en políticas públicas que fomenten el desarrollo sustentable de la actividad.

Contribución de autorías

Todos los/las autores/as de este trabajo han contribuido por igual a su desarrollo.

Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

Bibliografía

- Abbona, E. (2017). *Flujos de nutrientes en la agricultura y la alimentación para un ecosistema alimentario sostenible en la provincia de Buenos Aires* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad nacional de La Plata, Argentina.
- Abbona, E. (2020). La biodiversidad y los nutrientes en la agricultura y la alimentación. En S. Sarandón (coord.), *Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable* (pp. 52-69). La Plata, Argentina: EDULP.
- Berardo, A. (2004). Manejo de la fertilización en una agricultura sustentable. *Informaciones Agronómicas*, (23), 23-25.
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>.
- Buzai, G. (2014). *Mapas sociales urbanos*. Buenos Aires, Argentina: Lugar Editorial.
- Buzai, G., y Baxendale, C. (2012). *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica* (Tomo 2). Buenos Aires, Argentina: Lugar Editorial.
- Buzai, G., y Galbán, E. (2020). El mapa social de la ciudad de Córdoba (Argentina): Construcción cuantitativa e interpretación modelística. *Cuadernos Geográficos*, 59(1), 299-315. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i1.8463>.
- Cerdà, A., Franch-Pardo, I., Novara, A., Sannigrahi, S., & Rodrigo-Comino, J. (2022). Examining the effectiveness of catch crops as a nature-based solution to mitigate surface soil and water losses as an environmental regional concern. *Earth Systems and Environment*, 6(1), 29-44. doi.org/10.1007/s41748-021-00284-9.
- Ciampitti, I., y García, F. (2007). Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I: Cereales, Oleaginosos e Industriales. *Archivo Agronómico* (11), 13-16. Recuperado de <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1081>.
- Ciampitti, I., y García, F. (2008). Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. *Revista Horizonte A*, 4(18), 22-28. Recuperado de <https://issuu.com/horizonteadigital>.
- CNA (2002). *Censo Nacional Agropecuario*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- CNA (2018). *Censo Nacional Agropecuario*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Collino, D., Salvagiotti, F., Peticari, A., Piccinetti, C., Ovando, G., Urquiaga, S., & Racca, R. (2015). Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors. *Plant and Soil*, 392, 239-252. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2459-8>.
- Cruzate, G., y Casas, R. (2012). Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones agronómicas de Hispanoamérica*, 6, 7-14. Recuperado de [https://www.ipni.net/publication/ialahp.nsf/0/AE9C457B83C1813685257A2F004F6397/\\$FILE/IAH-2012-02.pdf#page=7](https://www.ipni.net/publication/ialahp.nsf/0/AE9C457B83C1813685257A2F004F6397/$FILE/IAH-2012-02.pdf#page=7).
- Cruzate, G., y Casas, R. (2017). Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/16. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 28, 14-23. Recuperado de [https://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/58CB2D937A72EAC60325821900448FF9/\\$FILE/14.pdf](https://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/58CB2D937A72EAC60325821900448FF9/$FILE/14.pdf).
- Darwich, N. (2019). La salud de nuestros suelos. *Investigación+Desarrollo*, Profertil, (25). Recuperado de <https://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/bt-n-25-la-salud-de-nuestros-suelos>.
- Díaz de Astarloa, D., & Pengue, W. (2018). Nutrients metabolism of agricultural production in Argentina: NPK input and output flows from 1961 to 2015. *Ecological Economics*, 147, 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.01.001>.

- FAC (Fertilizar Asociación Civil) (2014). *Revista Fertilizar*, 29, 1-36. Disponible en: <https://www.fertilizar.org.ar/subida/revistas/29.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2003). *Assessment of soil nutrient balance. Approaches and methodologies*. Roma, Italia: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) (2004). *Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina*. Roma, Italia: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) (2016). *Estado Mundial del Recurso Suelo*. Roma, Italia: FAO.
- Fontanetto, H., y Keller, O. (2011). *Fertilización en sorgo*. Recuperado de: <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/fertilizacion-en-sorgo.pdf>
- Frangi, J. L., y Barrera, M. (1996). Biodiversidad y dinámica de pastizales en la Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. En G. Sarmiento y M. Cabido (Eds.), *Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina* (pp. 133-164). Venezuela: CYTED-CIELAT.
- García, F. (2006). La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 29, 13-16. Recuperado de <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/issue/IA-LACS-2006-1>.
- García, F., y González-Sanjuan, M. (2010). Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 48(6). Recuperado de <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/balance-de-nutrientes-en-argentina-como-estamos-como-mejoramos.pdf>.
- García, F., y Díaz-Zorita, M. (2015). La fertilidad de los suelos y el uso de nutrientes en la producción agrícola extensiva de Argentina. En R. Casas y G. Albarracín (Eds.), *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina* (pp. 183-198). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: FECIC.
- Gardi, C., Panagos, P., Van Liedekerke, M., Bosco, C., & De Brogniez, D. (2015). Land take and food security: assessment of land take on the agricultural production in Europe. *Journal of Environmental Planning and Management*, 58(5), 898-912. <http://dx.doi.org/10.1080/09640568.2014.899490>.
- Gebresamuel, G., Opazo-Salazar, D., Corral-Núñez, G., van Beek, C., Elias, E., & Okolo, C. (2021). Nutrient balance of farming systems in Tigray, northern Ethiopia. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 315-328. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00362-3>.
- González-Sanjuan, M., Grasso, A. y Bassi, J. (2013). Fertilizantes en Argentina. Análisis del consumo. *Revista Fertilizar*, (25), 25-29. Recuperado de <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/01/2013-no-25-Fertilizantes-en-Argentina.-Ana%CC%81lisis-del-consumo.pdf>
- Grasso, A., y González-Sanjuan, M. (2018). Fertilizantes en Argentina. Análisis del Consumo. *Horizonte A*, 14(106), 36-39. Recuperado de <https://horizonteadigital.com/fertilizantes-en-argentina-analisis-del-consumo-por-andres-a-grasso-y-maria-fernanda-gonzalez-sanjuan/>
- Hanrahan, B., King, K., Williams, M., Duncan, E., Pease, L., & LaBarge, G. (2019). Nutrient balances influence hydrologic losses of nitrogen and phosphorus across agricultural fields in northwestern Ohio. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 113, 231-245. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-09981-4>
- Humacata, L. (2013). Clasificaciones socioespaciales con sistemas de información geográfica. Análisis exploratorio y multivariado de la situación socio-habitacional de la Provincia de Buenos Aires. *Anuario de la División Geografía*, (9). Recuperado de <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/417>.
- INPOFOS (Instituto de la Potasa y el Fosforo) (1999). *Requerimientos nutricionales de los cultivos (Archivo Agronómico 3)*. Recuperado de [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B4CDA48FABB666503257967007DD076/\\$FILE/AA%203.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B4CDA48FABB666503257967007DD076/$FILE/AA%203.pdf)
- Jobbágy, E., Aguiar, S., Piñeiro, G., y Garibaldi, L. (2021). Impronta ambiental de la agricultura de granos en Argentina: revisando desafíos propios y ajenos. *Ciencia Hoy*, 29 (173), 55-64. Recuperado de <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/6725>.
- Kopittke, P., Menzies, N., Wang, P., McKenna, B., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>.
- Magra, G., Saperdi, A., Vigna, Y., Besson, P., y Ferreras, L. (2020). El valor agregado de intensificar la agricultura. *Agromensajes*, (58), 22-27. Recuperado de https://fcagr.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2020/12/04_AM58.pdf.
- Manchado, J. (octubre de 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. Ponencia presentada en la XLI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria, San Luis, Argentina.
- Matteucci, S. (2012). Ecorregión pampa. En J. Morello, S. Matteucci, A. Rodríguez y M. Silva (Eds.), *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos* (pp. 391-445). Buenos Aires, Argentina: Orientación Gráfica Editora S.R.L.
 - Metson, G., Lin, J., Harrison, J., & Compton, J. (2017). Linking terrestrial phosphorus inputs to riverine export across the United States. *Water Research*, 124, 177-191. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.037>.
 - Oenema, O., Kros, H., & de Vries, W. (2003). Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *European Journal of Agronomy*, 20 (1-2), 3-16. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00067-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00067-4).
 - Pacheco, F., Ometto, J., Gomes, L., Tösto, K., Miranda, M., Loverde-Oliveira, S., ... & Cox, C. (2021). Nutrient balance and use efficiency in agricultural lands in the Vermelho River Watershed, Upper Pantanal, Brazil. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126(3). <https://doi.org/10.1029/2020JG005673>.
 - Paramasivam R., Paramasivam P., Umanath M., & Balasubramanian R. (2021). Assessment of potassium nutrient balance in agricultural farming system: a pathway to sustainable production of crops. En V. Venkatramanan, S. Shah, & R. Prasad (Eds.), *Sustainable bioeconomy* (pp. 325-337). Singapore: Springer.
 - Pla, I. (noviembre de 2006). Problemas de degradación de suelos en América Latina: evaluación de causas y efectos. Ponencia presentada en el X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito, Ecuador.
 - ReTAA (Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada) (2020). *Balance de nutrientes* (Informe mensual N°39). Buenos Aires, Argentina: Bolsa de Cereales.
 - Rodrigo-Comino, J., Senciales, J. M., Cerdà, A., & Brevik, E. C. (2018). The multidisciplinary origin of soil geography: A review. *Earth-Science Reviews* 177, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.008>.
 - Roy, R., Misra, R., Lesschen, J., & Smaling, E. (2003). *Assessment of soil nutrient balance. Approaches and methodologies*. Roma, Italia: FAO.
 - Sainz-Rozas, H., Echeverría, H., y Angelini, H. (2012). Fósforo disponible en suelos agrícolas de la Región Pampeana y ExtraPampeana Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(1), 33-39. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/864/86423614007.pdf>.
 - Sequeira, N., y Tula, R. (mayo de 2018). Balance de nitrógeno y fósforo y sus potenciales consecuencias ambientales en el partido de Benito Juárez, período 2002/03-2014/15. Ponencia presentada en las V Jornadas Nacionales de Investigación en Geografía Argentina y XI Jornadas de Investigación y Extensión del Centro de Investigaciones Geográficas, Tandil, Buenos Aires, Argentina.
 - Sequeira, N., Vazquez, P., y Sacido, M. (2021a). 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. *Geo Ambiente on-line*, 40. Recuperado de <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/67474>.
 - Sequeira, N., Vazquez, P., Sacido, M., y Daga, D. (2021b). Zonificación agroecológica del partido de Benito Juárez (Argentina): agriculturización y consecuencias ambientales en una porción de la Región Pampeana Argentina. *Investigaciones Geográficas*, (76), 285-307. <https://doi.org/10.14198/INGEO.18076>.
 - USDA (United States Department of Agriculture) (2006). *Keys to Soil Taxonomy* (Tenth Edition). Washington D.C., Estados Unidos: USDA.
 - van Dijk, K., Lesschen, J., & Oenema, O. (2016). Phosphorus flows and balances of the European Union Member States. *Science of the Total Environment*, 542, 1078-1093. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.048>.
 - Vazquez, P., Zulaica, L., Sequeira, N., y Daga, D. (2019). Expansión agrícola y potenciales implicancias sobre los servicios ecosistémicos en los paisajes del partido de Necochea, Buenos Aires, Argentina. *Acta Geográfica*, 13(31), 171-196. <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v13i31.5323>.
 - Vázquez-Rodríguez, R. (2018). Uso de sistemas de información geográfica libres para la protección del medio ambiente. Caso de estudio: manipulación de mapas ráster con datos climáticos. *Universidad y Sociedad*, 10(2), 158-164. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>.
 - Velázquez, G. (2019). Geografía y cambios en la calidad de vida de los argentinos: una perspectiva territorial a la luz del siglo XXI. *Punto Sur*, (1), 104-121. <https://doi.org/10.34096/ps.n1.6915>.
 - Viglizzo, E., Pordomingo, A., Castro, M., y Lértora, F. (2002). La sustentabilidad ambiental de la agricultura pampeana. *Ciencia Hoy*, 12(68), 38-51. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5217339>.
 - Viglizzo, E., y Jobbágy, E. (2010). *Expansión de la frontera agropecuaria en argentina y su impacto ecológico ambiental*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA.

- Volante, J., Mosciaro, J., Morales-Poclava, M., Vale, L., Castrillo, S., Sawchik, J., ... y Paruelo, J. (2015). Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010. Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 41(2), 179-191. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/864/86441580011.pdf>.
- Zhang, X., Davidson, E., Zou, T., Lassaletta, L., Quan, Z., Li, T., & Zhang, W. (2020). Quantifying nutrient budgets for sustainable nutrient management. *Global Biogeochemical Cycles*, 34(3). <https://doi.org/10.1029/2018GB006060>.