

¿Agricultura con reposición de nutrientes o minería de suelos?

¿Agriculture with nutrient replacement or solil mining?

Roberto R. Casas* y Gustavo A. Cruzate**

*Escuela Superior de Ingeniería, Informática y Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Morón, Argentina.

**Ing. Agr. MSc Ciencias del Suelo (UBA).

Manuscrito recibido: 11 de noviembre de 2020; aceptado para publicación: 10 de abril de 2021

Autor de contacto: Ing. Agr. Roberto R. Casas. Escuela Superior de Ingeniería, Informática y Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Morón, Machado 914, (1708) Morón, Prov. de Bs. As. República Argentina.

E-mail: robertoraulcasas@gmail.com

Resumen

El balance entre la extracción de nutrientes por los principales cultivos y los aportes por fertilización, continúan siendo deficitarias en los suelos agrícolas de la Argentina. En la campaña 2018/19 se extrajeron 4,48 millones de toneladas de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y calcio, siendo la reposición de 1,71 millones de toneladas lo cual representa un 38,3 por ciento de reposición. La situación descrita indica la existencia de sistemas productivos que no son sustentables, afectando negativamente los niveles de fertilidad e incrementado los procesos de degradación de los suelos y por ende, limitando el crecimiento de la producción agrícola nacional. Las áreas de mayor extracción de nutrientes están centralizadas en el norte de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe. Al analizar el balance de los nutrientes correspondiente a la campaña agrícola 2018/19 desde el punto de vista económico, se observa que se han exportado alrededor de 2,77 millones de toneladas de elementos nutrientes en el grano, lo que representa una cifra de 1.762 millones de dólares. La pérdida de fertilidad de los suelos de la región agrícola se ha acelerado en los últimos años debido a que continúa prevaleciendo la extracción de nutrientes minerales sobre la reposición, en lo que constituye una “minería” de suelos. La situación consignada atenta contra la sustentabilidad de los agroecosistemas.

Palabras clave: balance de minerales, fertilización, degradación de suelos, agricultura sustentable.

Abstract

The balance between the extraction of nutrients by the main crops and the contributions by fertilization continue to be deficient in the agricultural soils of Argentina. In the 2018/19 campaign, 4.48 million tons of nitrogen, phosphorus, potassium, sulfur and calcium were extracted, with replacement of 1.71 million tons, which represents 38.3 percent replacement. The situation described indicates the existence of productive systems that are not sustainable, negatively affecting fertility levels and increasing the processes of soil degradation and therefore, limiting the growth of national agricultural

production. The areas with the highest extraction of nutrients are centralized in the north of the province of Buenos Aires and south of Santa Fe. When analyzing the balance of nutrients corresponding to the 2018/19 agricultural season from the economic point of view, it is observed that They have exported around 2.77 million tons of nutrient elements in the grain, which represents a figure of 1.762 million dollars. The loss of fertility of the soils of the agricultural region has accelerated in recent years due to the fact that the extraction of mineral nutrients continues to prevail over replacement, in what constitutes a “mining” of soils. The reported situation threatens the sustainability of agroecosystems.

Key words: mineral balance, fertilization, soil degradation, sustainable agriculture.

DOI: <http://doi.org/10.34073/267>

INTRODUCCIÓN

La fertilidad de un suelo es la capacidad de proveer los nutrientes en condiciones óptimas y balanceadas en el momento requerido por las plantas, concepto que integra aspectos físicos, químicos y biológicos. Los nutrientes del suelo poseen una dinámica que abarca a los intercambiables de la fase sólida, los de la solución y los adsorbidos por la raíz de la planta. A su vez, los nutrientes de la solución del suelo son abastecidos por el proceso de mineralización de la materia orgánica y por la meteorización de los minerales. Parte de estos nutrientes son inmovilizados por los microorganismos para su crecimiento y reproducción. También se registran pérdidas por lixiviación, erosión, precipitación y fijación.

La fertilidad por lo tanto es la resultante de múltiples procesos dinámicos, constituyendo un componente importante de la productividad del suelo. El suelo puede ser modificado en su estado y propiedades por la agricultura a través de cambios en el ciclado, contenido y distribución de los compuestos de carbono orgánico y nutrientes del suelo (Andrade, 2017). El uso agrícola del suelo conduce generalmente a procesos de degradación entre los que se encuentra la pérdida de nutrientes (McLauchlan, 2006). Estos procesos pueden afectar la sustentabilidad de los sistemas productivos (Doran et al., 1994). En efecto, a diferencia de un ecosistema natural, un agroecosistema no puede autoabastecerse de nutrientes, sino que requiere la incorporación de nutrientes externos al mismo para compensar las salidas (Abbona y Sarandón, 2014). En un ecosistema agrícola los nutrientes

son constantemente extraídos y exportados. Los agricultores tratan de satisfacer la demanda de nutrientes usando los nutrientes disponibles del suelo y el “capital de circulación” conformado por los nutrientes provenientes de la mineralización de la materia orgánica, complementado con la aplicación de nutrientes externos. Sin embargo los nutrientes almacenados en el suelo no deben ser agotados más allá del nivel crítico para cada nutriente (FAO, 1999).

La intensificación de la agricultura sin implementar las prácticas adecuadas de conservación del suelo es una de las causas más importantes de la degradación del suelo, que se traduce en erosión, deterioro de las propiedades físicas y alteración de la composición química por acidificación y pérdida de nutrientes (Vilches et al., 2014).

Un análisis de la evolución de la calidad y la fertilidad de los suelos de la región Pampeana Argentina desde comienzos de la etapa de colonización hasta nuestros días indica que siempre estuvo ligada al contenido de materia orgánica. Una evaluación realizada por el INTA hacia finales de la década de los 80' sobre 5 millones de hectáreas de la región maicera tradicional en el área núcleo, muestran que los niveles de materia orgánica disminuyeron progresivamente con el uso agrícola, pasando de un 3,2% promedio en suelos con rotación agrícola-ganadera, a un 2,7% en suelos bajo agricultura continua por periodos de más de 20 años. La disminución de los contenidos de materia orgánica, si bien variables en las distintas series de suelos y según el uso del suelo, fluctúan entre un 24% y más del 60% del contenido original (Michelena et al., 1989).

Un estudio efectuado a principios del siglo actual, reporta reducción de los niveles de materia orgánica respecto a la condición prístina del 36 al 53% según zonas. La menor disminución se determinó para la zona sudeste de Buenos Aires mientras que la mayor, para los suelos del este de La Pampa (Sainz Rozas et al., 2011). Las elevadas caídas de materia orgánica en los suelos del norte de Buenos Aires, sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba, se asocian a la prolongada historia agrícola de esta región y a la elevada frecuencia del cultivo de soja en la rotación (Casas, 2003). Confirmando lo hallado en las distintas regiones, la soja es el cultivo extensivo más extractivo de nutrientes, aun considerando la fijación biológica de nitrógeno que realiza (Manchado, 2010). Una de las consecuencias indeseables, pero previsibles, de la expansión de la agricultura ha sido un aumento de la presión sobre la disponibilidad de nutrientes en los suelos que está provocando una continua y creciente reducción de su riqueza mineral (Reca, 2013).

En la Argentina, los balances de nutrientes son negativos, lo cual contribuye a la degradación de los suelos por pérdida de la fertilidad (Andrade, 2016). Numerosos autores que estudiaron la evolución de la fertilidad de los suelos señalan que en las últimas décadas se registra una elevada extracción de nutrientes no repuestos en igual magnitud, poniendo en peligro la sustentabilidad de los sistemas productivos (Casas, 2000, Cruzate y Casas, 2003, 2009 y 2012; Fontanetto y Gambaudo, 2010; Martínez, 2010)

Las relaciones aplicación/extracción en grano de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre para los cuatro principales cultivos (soja, maíz, trigo y girasol) han mejorado durante los últimos Años, pero los balances de nutrientes siguen siendo negativos. Así en la campaña 2009/10 se registró una reposición vía fertilización del 30% de N, 39% de P, menos del 1% de K y 29% de S (García y González Sanjuan, 2010). Los guarismos mejoraron en la campaña 2010/11, con una reposición del 39% de N, 64% de P, 6% de K y 51% de S, con una reposición global del 34,6 % (Cruzate y Casas, 2012). Pero en la campaña 15/16 las reposiciones decrecieron. Sólo se repuso un 31% de N, 39% de P, 3,2% de K, 46% de Ca y 31% de S con una reposición global de 24,5% (Cruzate y Casas, 2017).

Los objetivos del presente estudio consisten en: a) evaluar espacialmente la extracción de los principales nutrientes en

la campaña 2018-2019 generando mapas de exportación de nutrientes de los cultivos más importantes, y b) estimar el balance de estos nutrientes a nivel nacional valorizando los principales nutrientes exportados del suelo.

MATERIALES Y METODOS

En base a los requerimientos nutricionales de los cultivos (García y Correndo, 2016) se calcularon las cantidades promedio de nutrientes exportados. A los efectos de estimar la superficie y producción por cultivo, se utilizó información de la campaña agrícola 2018/2019 suministrada por la Dirección de Estimaciones Agrícolas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2020) (<http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>)

Tomando los datos correspondientes a la producción de soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz, que representan el 94% de la producción la República Argentina (**Tabla I**), se calculó la exportación total de nutrientes en los granos por Departamento en las provincias productoras, referidos a la superficie total del departamento y a la superficie sembrada.

Tabla I. Superficie sembrada, cosechada y producción agrícola en la cosecha 2018/2019 en la República Argentina Fuente: Dirección de Estimaciones Agrícolas (2020)

Cultivo	Sembrado (ha)	Cosechado (ha)	Producción (t)	Rendim. (kg.ha-1)
Arroz	194.835	183.285	1.189.866	6492
Girasol	1.941.002	1.875.938	3.825.750	2039
Maíz	9.039.594	7.232.761	56.860.704	7862
Soja total	17.010.277	16.575.887	55.263.891	3334
Sorgo	522.221	342.623	1.601.435	4674
Trigo total	6.287.149	6.050.953	19.459.727	3216
Total	34.995.078	32.261.447	138.201.373	4284
estudiado				
Total	39.405.130	34.989.128	146.838.109	4196
cultivos				
Estudiados/	89 %	92%	94%	
Total				

Partiendo de información satelital del período 2006-2009 (Volante et al, 2013) sobre uso de la tierra y del mapa de suelos a escala 1:500.000 de la República Argentina (INTA, 1990) se generó un mapa de áreas agrícolas. La información

se integró superponiéndola con los mapas de extracción de nutrientes, mediante un Sistema de Información Geográfica ArcView 3.2 para el manejo de los datos de atributos y cartográficos. Para visualizar la susceptibilidad a la degradación por pérdida de nutrientes se elaboraron mapas por interpolación mediante la Distancia Inversa Ponderada (IDW) de los elementos estudiados a partir de la magnitud de la extracción por hectárea en cada departamento.

El costo económico para la reposición de los nutrientes exportados, se calculó con los precios de los principales fertilizantes utilizados en la República Argentina a partir del valor por unidad de elemento extraído en dólares por tonelada a setiembre de 2020. Se utilizaron los precios de urea (46:0:0), superfosfato triple (0:46:0), cloruro de potasio (0:0:60), sulfato de amonio (0:0:0:24S) y carbonato de calcio (Ca). No se consideró al boro pues no se disponía de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar la superficie sembrada en el país, se observa que cultivos como el sorgo, girasol y arroz tienen una tendencia estable a lo largo de los años; las superficies sembradas con trigo y maíz han aumentado. Por su parte la soja ha aumentado el área sembrada año tras año principalmente a partir de la aprobación de la soja resistente al glifosato en 1996, cuadruplicando la superficie sembrada desde 1988 a 2015 (**Figura 1**). En los últimos años la superficie de este cultivo ha disminuido posiblemente por efectos de un período de anulación y otro de disminución de las retenciones al maíz y al trigo. Como consecuencia de la situación descripta, en los últimos 31 años se ha duplicado el área sembrada pasando de 19,53 millones de hectáreas en la campaña 1988/89 a 39,40 millones de hectáreas en la campaña 2018/19. En el mismo período, la producción se ha cuadruplicado a base de mayores rendimientos (**Figuras 2, 3A y 3B**).

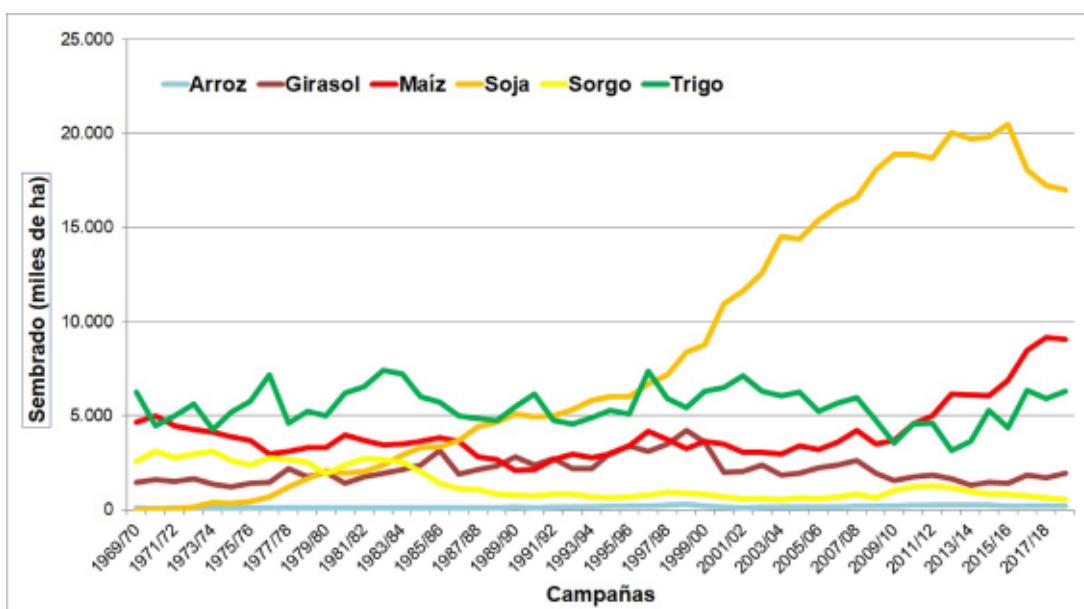


Figura 1. Evolución de la superficie sembrada de principales cultivos agrícolas.

Fuente: Dirección de Estimaciones Agrícolas (2020).

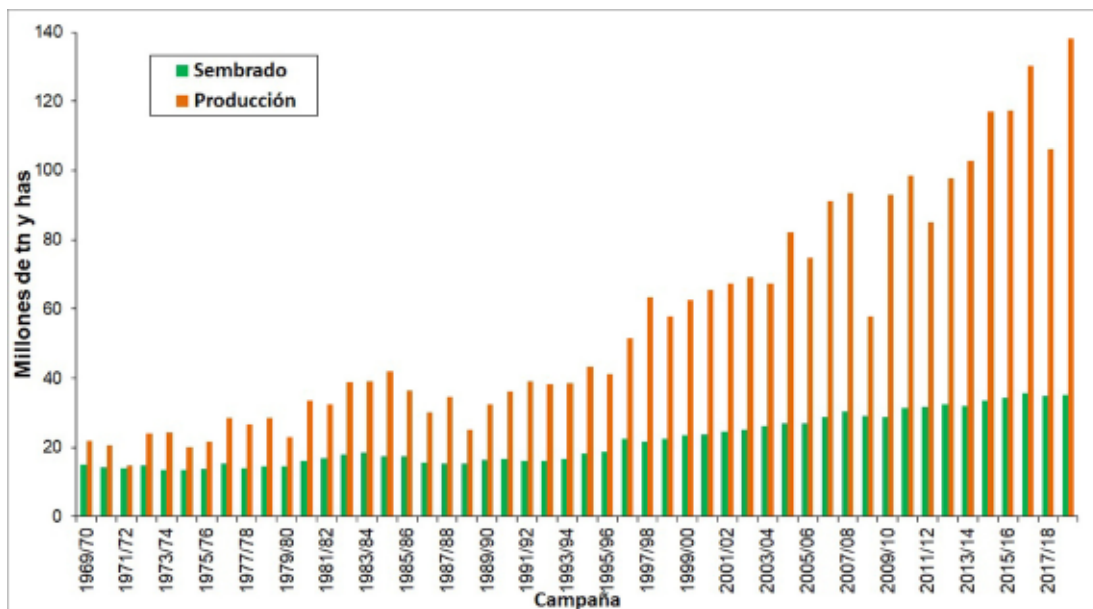


Figura 2. Superficie sembrada y producción de los principales cultivos agrícolas.
Fuente: Dirección de Estimaciones Agrícolas (2020).

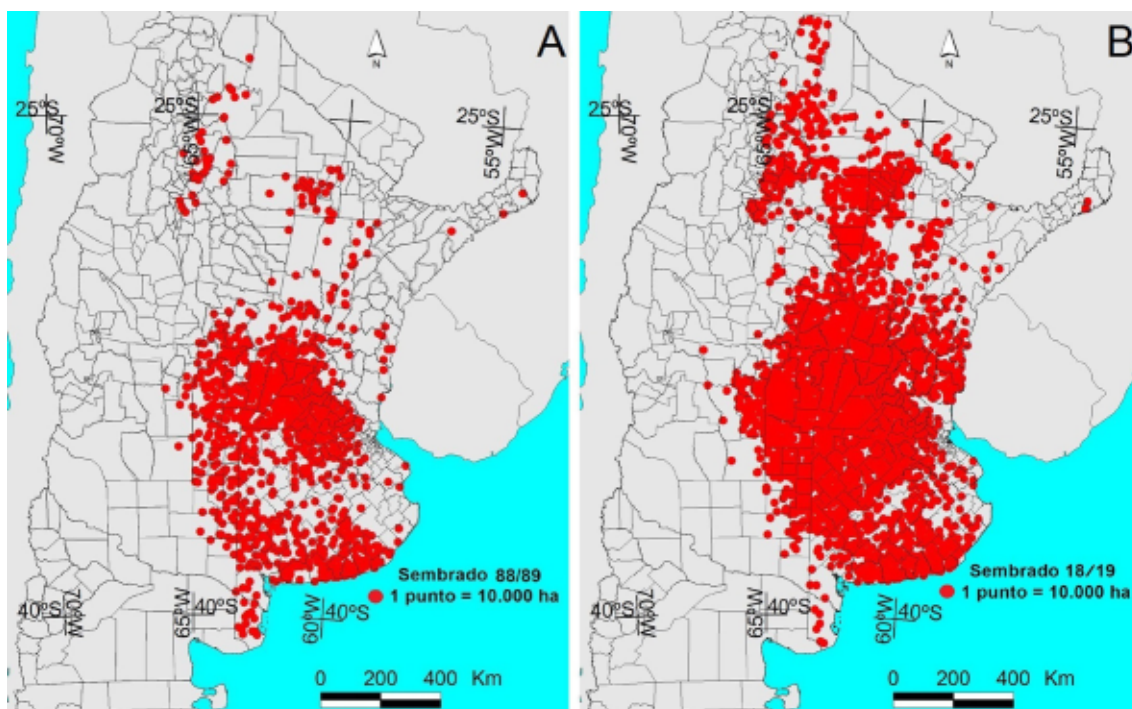


Figura 3. Distribución de la superficie sembrada en Argentina: (A) Campaña 1988/89 (B) Campaña 2018/19.

Las mayores exportaciones de nitrógeno ocurren la zona núcleo de Buenos Aires y Santa Fe (partidos de Salto, Caseros e Iriondo), con valores que rondan los 169 a 159 kg/ha (**Figura 4A**). Si se calcula la extracción por hectárea cosechada, se extrajeron cantidades entre 183 y 172 kg/ha en los Partidos de Exaltación de la Cruz, Zarate, Pergamino y Salto. La **Figura 4B** muestra los valores de kilogramos por hectárea del elemento fósforo exportado en los granos. Los partidos con valores mayores son: Salto (BA), Caseros (SF) e Iriondo (SF), con valores entre 21 y 20 kg/ha. Extracciones mayores a los 22 kg/ha cosechada se produjeron en Colón, Pergamino y Rivadavia. Un estudio de Sainz Rosas et al (2019a) muestran que el contenido de fósforo (P) cayó en toda la región: el área con niveles de P superiores a 16 ppm (nivel adecuado para la mayor parte de los cultivos) se achicó considerable-

gativos durante el período evaluado, es decir, se fertiliza menos de lo que se lleva el cultivo.

Los mayores valores de exportación de potasio se presentan en los Partidos de Salto, Caseros Iriondo, con 55 a 53 kg/ha (**Figura 5A**). Si se consideran sólo las hectáreas cosechadas, valores entre a 62 y 57 kg/ha se presentan en los Partidos de Zarate, Exaltación de la Cruz y Pergamino. Según García y González Sanjuan (2010) la falta de reposición mediante la fertilización inevitablemente disminuirá la disponibilidad de potasio a medida que se intensifique la producción. Sainz Rosas et al (2019a) indican que los niveles de potasio (K) están dentro del rango alto a muy alto en la mayor parte de la región pampeana, excepto en la Provincia de Entre Ríos. La Figura 5B muestra los valores de kilogramos por hectárea del elemento azufre exportado en los granos. Los mayores

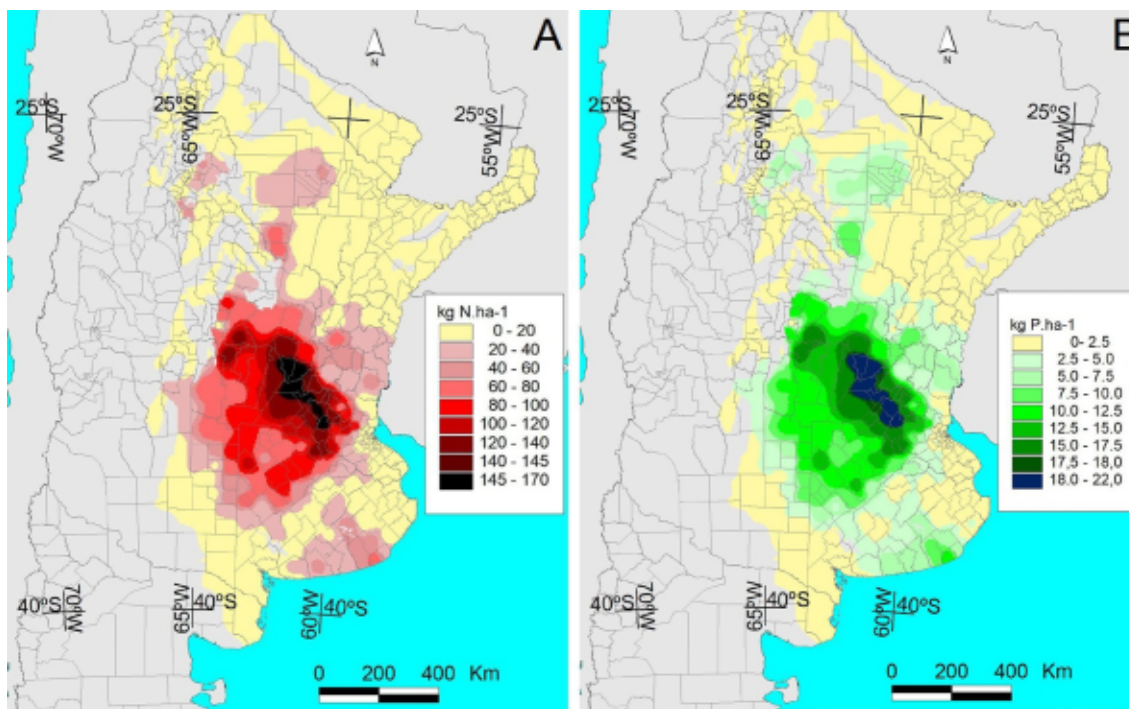


Figura 4. (A) Extracción de nitrógeno en granos por superficie de cada departamento.
(B) Extracción de fósforo en granos por superficie de cada departamento.

mente entre 2011 y 2018. El porcentaje de lotes con menos de 16 ppm de P pasó del 44% en 2011 al 66% en 2018. Esto sugiere que los balances de P continuaron siendo ne-

valores se presentan en los Partidos de Salto, Iriondo y Belgrano con valores mayores a los 11 kg/ha. Los mayores valores de exportación de azufre por hectárea cosechada se

presentan en Pergamino, Colón y Exaltación de la Cruz con valores de 11,5 kilogramos por hectárea.

cuenta sólo la superficie cosechada se ve que los valores mayores se presentan principalmente en los Partidos de Itatí,

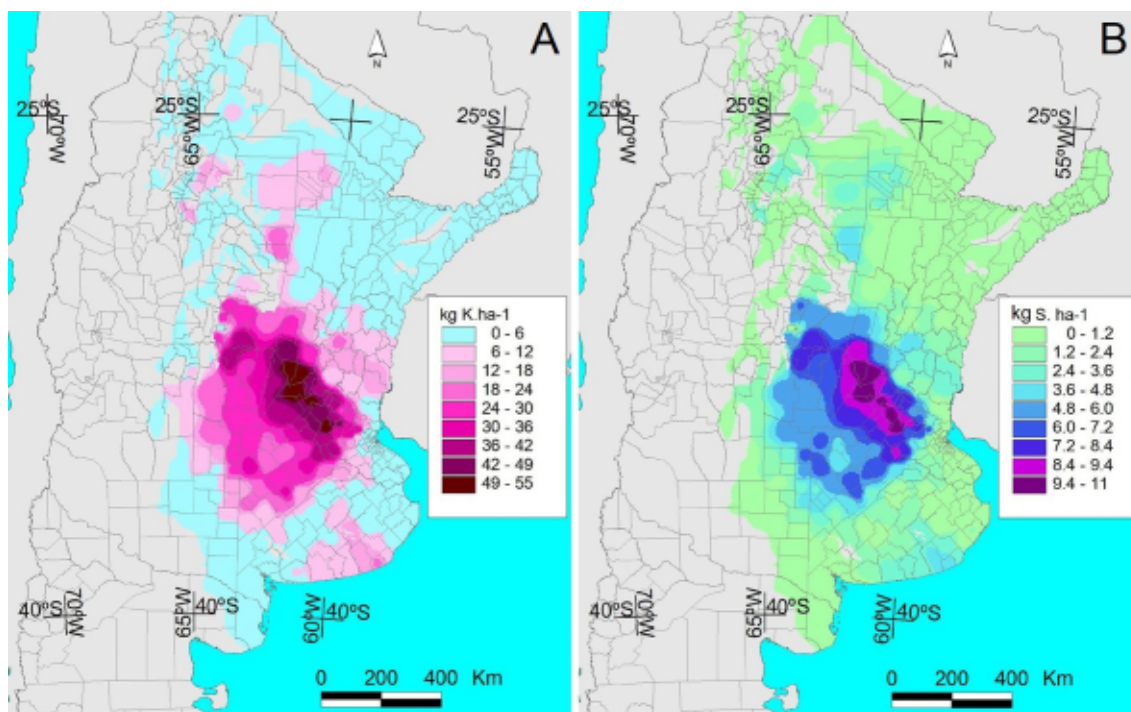


Figura 5. (A) Extracción de potasio en granos por superficie de cada departamento. (B) Extracción de azufre en granos por superficie de cada departamento.

Los mayores valores de exportación de calcio se presentan en los Partidos de Salto, Caseros e Iriondo con valores que rondan entre 8,5 y 8,1 kg/ha. (**Figura 6A**). La exportación mayor por hectárea cosechada se presentó en Zarate, Exaltación de la Cruz y Chicligasta (Tucumán) con valores entre 9,9 y 9,3 kilogramos por hectárea. La actividad agrícola produjo disminuciones de alrededor del 12% del calcio intercambiable y disminuyó fuertemente el porcentaje de saturación con calcio. La mayor parte de los suelos del norte de la región presentaron niveles de saturación menores al 50%, que podrían ser limitantes para soja y particularmente para alfalfa (Sainz Rosas et al , 2014).

La **Figura 6B** muestra los valores de kilogramos por hectárea del elemento boro exportado en los granos. Los mayores valores se presentan en los Partidos de Salto, Pergamino Rojas, con valores entre 0,03 y 0,02 Kg/ha. Si se toma en

General Paz y General Alvear de la Provincia de Corrientes con valores superiores a los 0,05 kg/ha de boro. Sainz Rosas et al (2019a) estudiaron que en un período de 7 años la tasa de caída del B varió entre 0,02 y 0,06 ppm por año. De seguir esta tendencia, las deficiencias de B se podrían generalizar en 7 u 8 años en la región pampeana.

En las últimas tres décadas, el consumo de fertilizantes se incrementó más de un 1000%, pasando de 300 mil toneladas en el año 1990 a 4,3 millones de toneladas en el año 2018 (De Bernardi et al, 2020). De acuerdo con información proveniente de la Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos en la campaña 2010/11 (CIAFA, 2020), el consumo de fertilizantes fue de 3,37 millones de toneladas (Mt); en 2011/12 se registró un record de 3,72 Mt de consumo de fertilizantes en función de la buena relación existente entre el precio de los granos y el de los ferti-

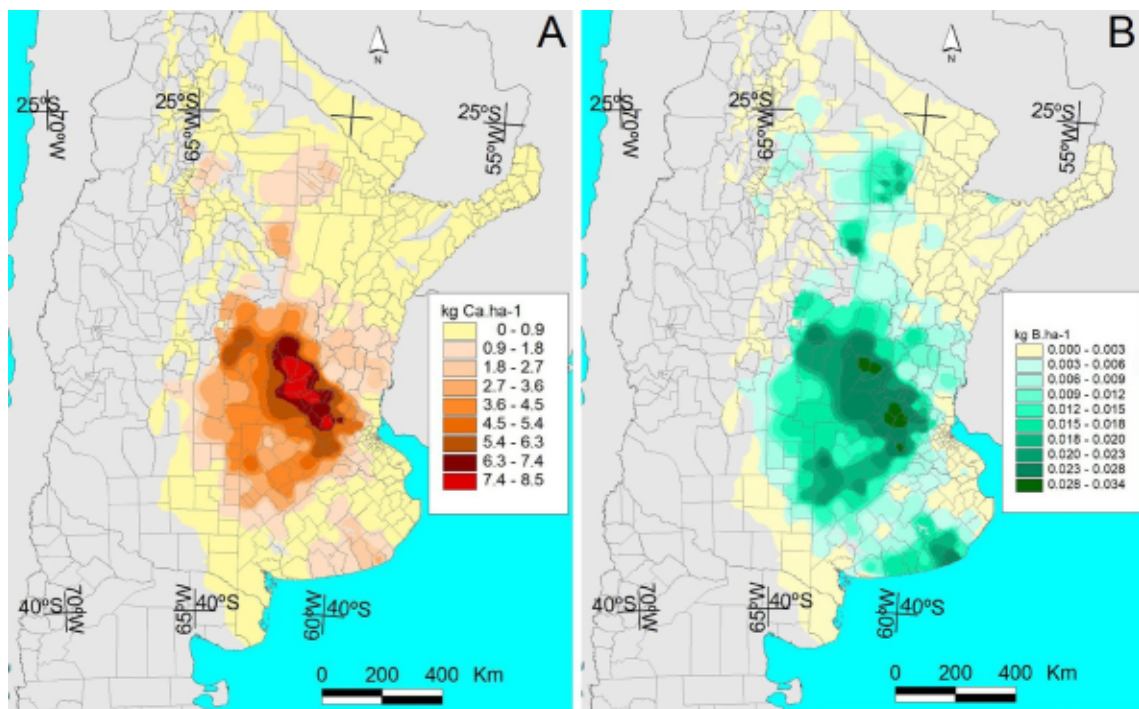


Figura 6. (A) Extracción de calcio en granos por superficie de cada departamento.
(B) Extracción de boro en granos por superficie de cada departamento.

lizantes. En las campañas de 2012/13 a 2014/15 se observa una leve disminución ya que se aplicaron entre 3.12 y 3.20 Mt de fertilizantes, respectivamente. En la campaña 2015/16 se produjo una marcada disminución en el uso de fertilizantes ya que se aplicaron sólo 2.44 Mt (Cruzate y Casas, 2017). Entre enero y noviembre de 2016 el consumo de agroquímicos y fertilizantes se incrementó un 47,1% a raíz de una demanda sostenida provocada por el crecimiento del área sembrada de trigo y maíz (Ámbito, 2017). En la **Figura 7** se observa como a partir de 2016 hay un incremento del consumo de fertilizantes hasta la fecha. De acuerdo a Terré y Treboux (2020) la importante expansión del área agrícola, la intensificación tecnológica en las técnicas productivas, sumada a la mayor producción relativa de trigo y maíz en las últimas campañas (el uso de fertilizante por hectárea implantada es mayor para estos cultivos), han producido un importante impacto en el mercado de fertilizantes, aumentando fuertemente la demanda.

En la Argentina, la superficie sembrada con los principales cultivos en la campaña 2018/2019 (soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz) se distribuyó en 15 provincias (**Tabla II**). Respecto a la campaña 2015/2016, la superficie sembrada se ha incrementado en un 2,15% con 34.995.078 has, mientras que la producción se ha incrementado un 17,77 % pasando de 117.341.741 t a 138.201.373 t en 2018/19 lo que se comprueba con el aumento de rendimiento por superficie cosechada de 3.772 kg/ha a 4.284 kg/ha en estos últimos años (Cruzate y Casas, 2017).

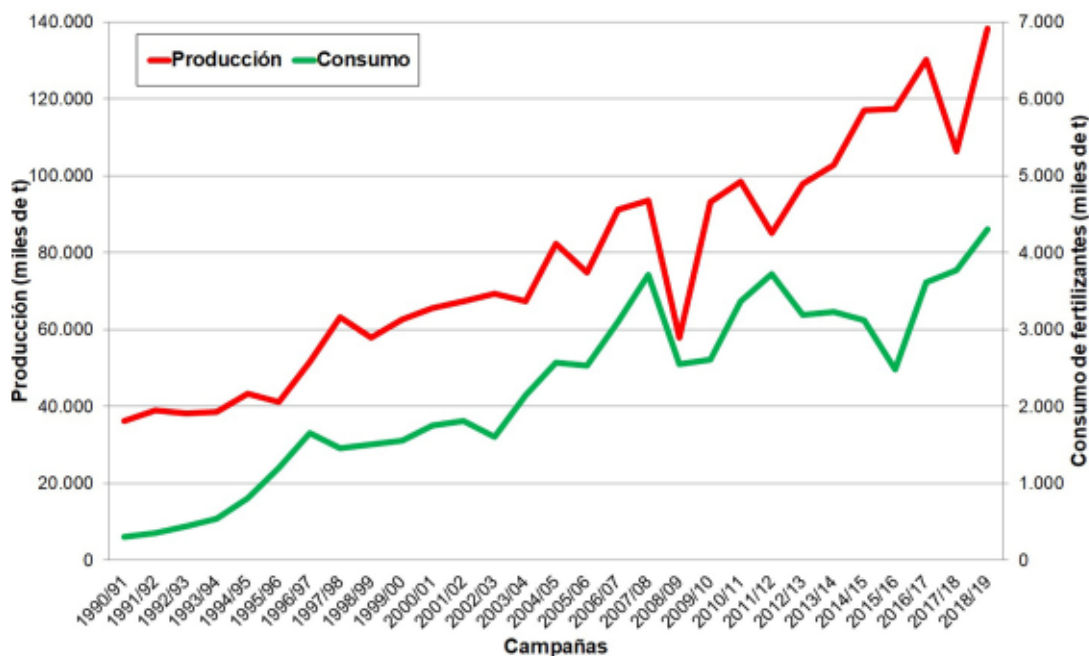


Figura 7. Producción agrícola por campaña y consumo de fertilizantes en la República Argentina.
Fuentes: Fertilizar (2020) y Dirección de Estimaciones Agrícolas (2020).

Tabla II. Superficie sembrada de soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz, en las campañas 2018/2019 y 2015/16 por Provincia. Fuente: Dir. Estimaciones Agrícolas (2020)

Provincia	Sembrado 18/19 (ha)	Sembrado 15/16 (ha)	Diferencia (ha)
Buenos Aires	11.335.169	9.444.786	1.890.383
Catamarca	78.760	182.922	-104.162
Chaco	1.375.360	2.233.327	-857.967
Córdoba	8.639.859	7.960.610	679.249
Corrientes	114.925	132.635	-17.710
Entre Ríos	2.270.300	2.170.520	99.780
Formosa	118.635	68.920	49.715
Jujuy	17.064	105.912	-88.848
La Pampa	1.536.070	1.457.205	78.865
Misiones	35.150	25.070	10.080
Salta	809.248	1.384.637	-575.389
San Luis	749.700	979.076	-229.376
Santa Fe	5.256.384	4.525.912	730.472
Santiago del Estero	2.287.774	1.795.592	492.182
Tucumán	370.680	1.789.921	-1.419.241
Total	34.995.078	34.257.045	738.033

Tal lo observado en la **Tabla II**, hay un leve aumento de la superficie sembrada total. Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba se destacan por el crecimiento de las hectáreas sembradas de los principales cultivos mientras que se observa una fuerte disminución en las provincias de Tucumán, Chaco y Salta. También se registra una disminución del area sembrada con soja y un incremento en las correspondientes a maíz y trigo. En la **Tabla III** se consigna la tasa de extracción promedio de

trientes se incrementó en un 11,4% debido principalmente al aumento en la producción y mayor rendimiento de los cultivos. A base de la información sobre extracción de nutrientes (**Tabla IV**) y de consumo de fertilizantes (**Tabla V**), se realizó el balance de nutrientes para la campaña agrícola 2018/2019 (**Tabla VI**).

Tabla III. Extracción promedio de nutrientes por los cultivos por tonelada de grano producido.
Fuente consultada: García y Correndo (2016)

Cultivo	N(kg.t-1)	P(kg.t-1)	K(kg.t-1)	Ca (kg.t-1)	Mg(kg.t-1)	S(kg.t-1))	B(kg.t-1)
Maíz	12,780	2,640	3,470	1,181	1,389	1,250	0,004
Sorgo	16,940	3,060	3,470	0,347	1,122	1,837	0,002
Trigo	18,000	3,330	3,350	0,367	2,333	1,467	0,011
Arroz	12,770	2,920	2,310	0,097	0,877	0,523	0,007
Soja	47,380	5,230	16,620	2,769	3,077	2,769	0,006
Girasol	21,000	5,910	5,000	1,360	2,727	1,955	0,032

Tabla IV. Extracción de nutrientes correspondiente a los principales cultivos durante el ciclo agrícola 2018/2019 (en toneladas)

Cultivo	Producción (t)	N (t)	P (t)	K (t)	Ca (t)	S (t)	B (t)	TOTAL (t)
Maíz	56.860.704	726.679,8	150.112,3	197.306,6	67.152,5	71.075,9	238,8	1.212.566
Sorgo	1.601.435	27.128,3	4.900,4	5.557,0	555,7	2.941,8	3,2	41.086
Trigo	19.459.727	350.275,1	64.800,9	65.190,1	7.141,7	28.547,4	214,1	516.169
Arroz	1.189.866	15.194,6	3.474,4	2.748,6	115,4	622,3	8,7	22.164
Soja	55.263.891	2.618.403,2	289.030,1	918.485,9	153.025,7	153.025,7	342,6	4.132.313
Girasol	3.825.750	80.340,7	22.610,2	19.128,7	5.203,0	7.479,3	121,7	134.884
Total (t)	138.201.373	3.818.022	534.928	1.208.417	233.194	263.692	929	6.059.182

nutrientes que varía en función del cultivo realizado y del rendimiento alcanzado (García y Correndo, 2016). En función de los datos de producción de los principales cultivos en la campaña 2018/2019 y las tasas promedio de extracción de minerales, se calculó la cantidad de nutrientes exportados en la región agrícola argentina (**Tabla IV**). En relación a la campaña 2015/16 la extracción total de nu-

De acuerdo a Salvagiotti et al (2016), el 60% del nitrógeno absorbido por la planta de soja es aportado por la fijación biológica (FBN) por lo que para efectuar el balance, solo se considera que un 40% del nitrógeno exportado es extraído del suelo. Por lo tanto de las 2.618.403,16 t de nitrógeno extraídas por la soja, solo se consideran 1.047.361,26 t para el balance.

Tabla V. Consumo en toneladas de fertilizantes por producto en 2018.
Datos estimados a partir de información de CIAFA (2019).

Fertilizante	Consumo (t)	N (t)	P (t)	K (t)	Ca (t)	S (t)
Cloruro de Potasio	27.614	0,0	0,0	13.751,8	0,0	828,4
Fosfato Diamónico	271.150	52.874,3	54.772,3	0,0	0,0	5.423,0
Fosfato Monoamónico	829.033	99.484,0	189.848,6	0,0	0,0	8.290,3
Mezclas NPK	84.271	16.854,2	7.415,8	13.989,0	0,0	842,7
CAN	128.830	34.784,1	0,0	0,0	12.883,0	0,0
Nitrato de Potasio	5.384	699,9	0,0	2.008,2	0,0	0,0
Superfosfato Triple	110.566	0,0	22.223,8	0,0	16.474,3	1.437,4
Superfosfato Simple	306.238	0,0	30.623,8	0,0	49.916,8	39.810,9
Sulfato de Amonio	37.774	7.932,5	0,0	0,0	0,0	9.065,8
Sulfato de Potasio	7.831	0,0	0,0	3.383,0	0,0	1.409,6
UAN	552.535	165.760,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Urea	1.630.596	750.074,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Otros nitrogenados	103.210	21.674,1	0,0	0,0	5.160,5	722,5
Tiosulfato de Amonio	91.113	10.933,6	0,0	0,0	0,0	23.689,4
Yeso	42.539	0,0	0,0	85,1	10.166,8	7.486,9
Tiosulfato de Potasio	3.057	0,0	0,0	635,9	0,0	519,7
Otros fosfatados	42.440	5.389,9	6.366,0	2.758,6	0,0	127,3
Otros potásicos	25.426	254,3	1.017,0	6.356,5	0,0	101,7
Otros azufrados	5.837	577,9	58,4	321,0	128,4	1.167,4
Total	4.305.444	1.166.461,2	312.325,7	43.289,1	94.729,9	99.755,5

Tabla VI. Balance de nutrientes (extracción por cultivos vs. reposición por fertilización), campaña 2018/19.

	N (t)	P (t)	K (t)	Ca (t)	S (t)	Total (t)
Fertilizante	1.166.461,2	312.325,7	43.289,1	94.729,9	99.755,5	1.716.561,3
Extraído	2.246.633,9	534.928,3	1.208.416,9	233.194,1	263.692,5	4.486.865,7
Balance	-	-	-	-	-	-
	1.080.172,8	222.602,6	1.165.127,9	138.464,2	163.937,0	2.770.304,4
% aportado	51,9	58,4	3,6	40,6	37,8	38,3

La reposición de nitrógeno en la campaña 2018/19 presentó un incremento mayor al registrado para reposición de fósforo y azufre en relación a la campaña 2016/17. Esto se explica principalmente por el aumento en la aplicación de fertilizantes nitrogenados dado una mayor superficie destinada a cultivos de maíz y trigo. Asimismo, los aumentos de superficie ocurrieron principalmente en regiones donde el aporte de nutrientes vía fertilización es mayor, como en la zona núcleo. La reposición de fósforo se incrementó entre campañas, lo cual está relacionado a la dinámica de siembra de los diferentes

cultivos. A partir de la campaña 2016/17, trigo y maíz aumentaron la participación dentro de las rotaciones agrícolas en detrimento de soja. Estos cultivos presentan una estrategia de fertilización diferente a la de soja, con mayores dosis de fertilización, lo cual implica un mayor aporte de fósforo. La reposición de azufre se mantuvo sin cambios entre campañas, presentando valores históricamente más bajos que nitrógeno y fósforo. Es un nutriente que se aplica mayoritariamente al cultivo de soja, con niveles de fertilización más bajos en comparación con el trigo y el maíz. (Bolsa de Cereales, 2020).

La demanda de fertilizantes se concentra en los principales cereales y oleaginosos cultivados en el país, con una distribución que muestra que un 72% (base consumo 2017/2018) se distribuye entre los tres cultivos con mayor superficie sembrada: soja, maíz y trigo. Los porcentuales en el uso de fertilizantes por hectárea implantada, son mayores en maíz (33%) y trigo (26%), siendo menor en la soja (13%), (Fertilizar, 2019). La alta participación del cultivo de soja responde a la gran dimensión del área sembrada, la que con registros anuales cercanos a las 17 millones de hectáreas, iguala la superficie sumada de maíz y trigo. Pocos lotes fueron fertilizados bajo el criterio de reconstrucción y mantenimiento, práctica que consiste en aplicar la cantidad de nutrientes necesaria para llegar al nivel de máximo rendimiento económico, evitando balances negativos. Los fertilizantes nitrogenados son más utilizados que los fosforados

en todos los cultivos con excepción de soja, más demandante en estos últimos.

En la **Tabla VI** se observa que el porcentaje de reposición de nutrientes totales es de un 38,3% de lo extraído, con un 52% de reposición de nitrógeno, 58% de fósforo, 3,6% de potasio, 40% de calcio, y 38% de azufre, situación extractiva que conduce a que los suelos se vayan empobreciendo progresivamente de sus nutrientes minerales. En la **Tabla VII** se realizó una estimación económica en dólares (precios de septiembre 2020) de los elementos exportados en los granos por los seis cultivos estudiados en la campaña 2018-2019. El valor de los nutrientes exportados suma un total de 1.762.689.400 dólares para los cinco elementos estudiados. Esta cifra es inferior a la de la campaña 15/16 debido a un porcentaje mayor de reposición.

Tabla VII. Nutrientes exportados y estimación de su valor

	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Azufre	Total (t)
Déficit (t)	1.080.173	222.603	1.165.128	138.464	163.937	2.770.305
Fertilizante comercial	Urea	Superfosfato triple	Cloruro de potasio	Carbonato de calcio	Sulfato de amonio	
% elemento	46% N	20,1% P	49,8% K	38,8%Ca	24% S	
t de fertilizante	2.348.200	1.107.470	2.339.610	356.860	683.070	
Precio (US\$/t)	420	420	410	40	330	
Valor en miles de U\$S	986.244,0	465.137,4	959.240,1	14.274,4	225.413,1	1.762.689,4

Precios sin IVA en septiembre de 2020 con un dólar oficial de \$78

CONCLUSIONES

Las cifras correspondientes al balance entre la extracción de nutrientes por los principales cultivos y los aportes por fertilización, continúan siendo deficitarias en los suelos agrícolas de la Argentina. En la campaña 2018/19 se extrajeron 4,48 millones de toneladas de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y calcio, siendo la reposición de 1,71 millones de toneladas lo cual representa un 38,3 por ciento de reposición. La situación descrita indica la existencia de sistemas productivos altamente extractivos de nutrientes, que no son sustentables, afectando negativamente los niveles de fertilidad e incrementado los procesos de degradación de los suelos y por ende, limitando el crecimiento de la producción agrícola nacional. Las áreas de mayor extracción de nutrientes están centralizadas en el norte de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe. Al analizar el balance de los nutrientes correspondiente a la campaña agrícola 2018/19 desde el punto de vista económico, se observa que se han exportado alrededor de 2,77 millones de toneladas de elementos nutrientes en el grano, lo que representa una cifra de 1.762 millones de dólares.

Resulta necesario aumentar el consumo de fertilizantes para cerrar las brechas productivas que aún subsisten y que permitirán alcanzar y superar las metas nacionales establecidas. Esta tecnología deberá ser acompañada de sistemas de cultivos y rotaciones que incrementen el contenido de materia orgánica del suelo, que lo preserven de la erosión y permitan la mayor captación y almacenamiento del agua pluvial, insumo que cada vez se tornará más estratégico para la producción agropecuaria. La pérdida de fertilidad de los suelos de la región agrícola se ha acelerado en los últimos años debido a que continúa prevaleciendo considerablemente la extracción de nutrientes minerales sobre la reposición, en lo que constituye una auténtica minería de suelos. La situación consignada atenta contra la sustentabilidad de los agroecosistemas, limitando la consecución de las metas productivas nacionales.

BIBLIOGRAFIA

• Abbona, E.A., & S.J. Sarandón. 2014. Manejo de Nutrientes en los Agroecosistemas. En: La Agroecología: un enfoque necesario para una agricultura sustentable. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables.

S.J. Sarandón y C.C. Flores (Eds.). Programa Edición Libros de Cátedra. Edit. Universidad Nacional de La Plata. Cap. 8: 211-234.

• Andrade, F. 2016. Los desafíos de la agricultura. INTA-Fac. de Ciencias Agrarias, Univ. Nac. De Mar del Plata – CO-NICET. Edit. International Plant Nutrition Institute -IPNI-. 135 pp.

• Andrade, F. (Comp.). 2017. Los desafíos de la agricultura Argentina. Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. Ediciones INTA. 120 pp.

• Ambito. 2017. Por el impulso al campo, el consumo de agroquímicos y fertilizantes creció un 47%. 12ene2017 <http://www.ambito.com/869185-por-el-impulso-al-campo-el-consumo-de-agroquimicos-y-fertilizantes-crecio-un-47>. Último acceso 2020.

• Bolsa de Cereales .2020. "Balance de nutrientes Campaña 2018/19" Informe ReTAA N°29. Departamento de Investigación y Prospectiva. Bolsa de Cereales 26/2/2020 6p https://www.bolsadecereales.com/imagenes/retaa/2020-02/200-informen29_balance_de_nutrientes_18_19.pdf, Último acceso 2020.

• Casas R. R. 2000 La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas. Disertación acto entrega premio Antonio Prego. www.insuelos.org.ar. Último acceso 2020.

• Casas R.R. 2003. El aumento de la materia orgánica en suelos argentinos. El aporte de la siembra directa. XI Congreso de AAPRESID. Tomo I. Pp. 155-168. Rosario.

• Cruzate, G. A. & R.R. Casas. 2003. Balance de Nutrientes. Revista Fertilizar INTA Año 8 Número Especial "Sostenibilidad" ISSN 1666-8812 diciembre 2003 . Pp. 7 – 13

• Cruzate, G. A. & R.R. Casas. 2009. Extracción de Nutrientes en la Agricultura Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur # 44 IPNI, Diciembre 2009. Pp. 21 – 26

• Cruzate, G. A. & R.R. Casas. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica # 6 IPNI, Junio 2012. Pp. 7-14.

• Cruzate G.A. & R.R. Casas. 2017. Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/16. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IAH 28, Diciembre 2017. Pp.14-23

• CIAFA .2019. Consumo de Fertilizantes en el agro 2018

<https://www.ciafa.org.ar/files/t10KJdM8H3mCt5rvGrRJgxi-fieqzGJih3ofuwHff.pdf>. Último acceso 2020.

- CIAFA. 2020. "Una ley para mejorar los suelos" 23-07-20 | ON24 <https://www.ciafa.org.ar/noticia/266>. Último acceso 2020.
- De Bernardi, L. A.; Stuhldreher, E. & C. Iglesias. 2020. "Producción granaria argentina y el consumo de fertilizante por cultivo campaña 2019/2020" Subsecretaría de mercados agropecuarios. M.A.G.yP. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/publicaciones/_archivos/000101_Perfiles/999975_Utilizaci%C3%B3n%20de%20Fertilizantes%20Campa%C3%B1a%202019-2020.pdf
- Dirección de Estimaciones Agrícolas. 2020. Subsecretaría de Agricultura, Dirección Nacional de Agricultura,. MAGYP <http://datosestimaciones.magyp.go><https://www.ciafa.org.ar/files/t10KJdM8H3mCt5rvGrRJgxi-fieqzGJih3ofuwHff.pdf>.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones. Último acceso 2020.
- Doran J.W.; Coleman D.C.; Bezdicek D.F. & B.A. Stewart (Eds.). 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Sci. Soc. Am. Inc. Madison, USA. 244 pp.
- FAO. 1999. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. Roma. 20 pp.
- Fertilizar (2019) Evolución del Consumo de Fertilizantes en Argentina <https://www.fertilizar.org.ar/subida/Estadistica/Evolucion%20de%20Consumo%201990%202013/EvolucionConsumo1990-2018.pdf> Último acceso 2020
- Fontanetto, H. & S. Gambaudo. 2010. El balance de nutrientes para sistemas agropecuarios sustentables. Ergomix.com. Consultado en 2011 en www.produccionanimal.com.ar. Último acceso 2020.
- García F.O. & M.F. González Sanjuan. 2010. Balances de nutrientes en Argentina. ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos?. Informaciones Agronómicas N° 48. IPNI Cono Sur. Buenos Aires. Pp. 1-5.
- García, F. O. & A. Correndo. 2016. Cálculo de Requerimientos Nutricionales - Versión 2016. IPNI, <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>. Pp 1 Último acceso 2020
- INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina E 1:500.000 y 1:1000.000. SAGyP, INTA CIRN.-Proyecto PNUD ARG 85/019
- Manchado J.C. 2010. La sustentabilidad de 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. Actas XLI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria -AAEA-. Potrero de los Funes, San Luis. 17 pp.

- Martínez, F. 2010. Crónica de la soja en la región pampeana argentina. Para Mejorar la producción 45 - INTA EEA Oliveros Pp 141-146 <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-crnica-de-la-soja-en-la-regin-pampeana-argentina.pdf>. Último acceso 2020
- McLaughlan, K. 2006. The nature and longevity of agricultural impacts on soil carbon and nutrients: a review. Ecosystems 9: 1364-1382.
- Michelena R.O., Irurtia C.B., Vavruska F., Mon R. & A. Pitaluga. 1989. Degradación de suelos en el norte de la región Pampeana. INTA. Proyecto de Agricultura Conservacionista. Publicación Técnica N°6. E.E.A del INTA Pergamino. 132 pp.
- Reza L.E. 2013. Aspectos de la fertilización química y de la producción de granos en el mundo y en Argentina 1961 - 2010. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Buenos Aires. 30 pp.
- Sainz Rozas H.R., Echeverría H.E. & H.P. Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana Argentina. Revista Ciencia del Suelo. 29 (1): 29 - 37.
- Sainz Rozas, H.; Echeverría H.; Barbieri, P. & M. Eyherabide. 2014. Relevamiento y Mapeo de la fertilidad en suelos agrícolas de la región pampeana Argentina revista Fertilizar Nro 29 <http://fertilizar.org.ar/subida/revistas/29.pdf>. Último acceso 2020
- Sainz Rozas, H.; Eyherabide, M.; Larrea, G.; Martínez Cuesta, N.; Angelini, H.; Reussi Calvo, N. & N. Wyngaard.. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. Actas Simposio Fertilidad, Rosario, Santa Fe, mayo de 2019. Pp.141-158
- Salvaggiotti, F.; Collino, D.J.; Perticari, A.; Piccinetti, C. y Ovando, G.; Urquiaga, S. & R.W. Racca. 2016. El aporte de la fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja en Argentina. Para mejorar la producción 54 - INTA EEA Oliveros. Ppp 145-150 <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-16.fijacion-biologica-nitrogeno-en-soja-argentina.pdf> Último acceso 2020.

- Terré E. & J. Treboux. 2020. Récord de consumo de fertilizantes en el 2019, con una participación de importados del 65%. Bolsa de Comercio de Rosario- Informativo semanal 5 jun 20. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/record-de-2>. Último acceso 2020.
- Vilches, A., Macías O. & D. Gil Perez. 2014. La transición a la sustentabilidad: un desafío urgente para la ciencia, la educación y la acción ciudadana. Temas clave de reflexión y acción. Documentos de trabajo de Iberciencia n° 01. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación la Ciencia y la Cultura. Junta de Andalucía. 253 pp.
- Volante, J.N.; Collado, A.; Ferreyra, E.; Lopez, C.; Navarro de Rau, M.; Pezzola, N.; Puentes, M.I.; Alday Poblete, S.; Alloggia, M.; Ayesa, J.; Barraza, G.; Behr, S.; Bran, D.; Bubenik, R.; Elena, H.; Elissalde, N.; Galvan, M.; Lagorio, P.; Livraghi, E.; Lopez, J.; Llanos, M.; Maciel, C.; Morales Poclava, M.; Oliva, G.; Olmedo, G.; Paredes, P.; Rial, P.; Rigo, S.; Roberto, Z.; Silva, S.; Umaña, F.; Vallone, R.; Tenti Vüegen, L.; Winschel, C.; Lisarraga L.; González, L. & A. San Martín. 2013. Cobertura y uso del Suelo de la República Argentina. visor.geointa.inta.gob.ar. Último acceso 2019.

