

Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/16

Gustavo A. Cruzate^{1*} y Roberto R. Casas

- *En Argentina, las relaciones aplicación/extracción en grano de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre para los cultivos de grano han mejorado durante los últimos años, pero los balances de nutrientes siguen siendo negativos.*
- *En la campaña 2015/16 se extrajeron 4.03 millones de toneladas de N, P, K, S y Ca, siendo la reposición de 0.99 millones de toneladas, lo cual representa un 24.5% de reposición.*
- *A precios de Junio 2016, este desbalance de nutrientes se valoriza en aproximadamente 3 mil millones.*

Introducción

Existe una preocupación mundial por alcanzar una agricultura sustentable. Las principales causas que la fundamentan se relacionan con los recursos de tierras cultivables finitos, problemas crecientes y generalizados de degradación de suelos, necesidad de preservar el recurso suelo para su utilización a largo plazo, efectos del cambio/variabilidad climática y crecimiento de la población de los países en desarrollo (Casas, 2016).

Las limitaciones en la expansión hacia tierras y ecosistemas más frágiles resultan en la necesidad de intensificar sustentablemente la producción en los sistemas actuales, es decir incrementar los rendimientos (García y Taboada, 2013). Una de las consecuencias indeseables, pero previsible, de la intensificación 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). Los desbalances nutricionales en los suelos llevan a la degradación de la fertilidad nativa del suelo, ejemplificada en las marcadas disminuciones de materia orgánica y las caídas en la productividad de los suelos (García, 2006).

Hasta ahora el crecimiento de la producción se logró en base a las nuevas tecnologías, a un creciente nivel de manejo de conocimientos e información por parte de productores y técnicos, y a la capacidad productiva de las tierras. Sin embargo, la calidad natural de los suelos tiene límites, sobrepasados los cuales, la vulnerabilidad de los mismos se vuelve crítica. La disminución del contenido de materia orgánica en términos generales no es percibida como un problema ya que el germoplasma y las tecnologías empleadas en la agricultura moderna de alta producción, incrementan continuamente los rendimientos de los cultivos, pero también la tasa de extracción de nutrientes del suelo (Casas, 2006). Por lo tanto, la pérdida de materia orgánica constituye un costo oculto para el productor que deberá saldar por otra vía. Para lograr la sustentabilidad de sistemas agrícolas resulta de vital importancia implementar rotaciones de cultivos que generen un balance positivo de la materia orgánica

del suelo en el mediano plazo. Ello permitirá mejorar la calidad del suelo, lo que se traducirá en planteos menos riesgosos y más rentables para el productor y favorables para la salud ambiental.

Un aspecto que ha merecido especial atención en los últimos años es el balance de nutrientes. Básicamente, el balance de nutrientes es la diferencia entre las cantidades de nutrientes aplicadas y removidas de un sistema de producción. En general, los balances se estiman sobre la reserva total de nutrientes del suelo, bajo el concepto de caja negra, es decir sin considerar las transformaciones de los nutrientes y sus fracciones dentro del suelo. Los balances negativos reducen la fertilidad del suelo pudiendo afectar seriamente la producción (rendimientos y biomasa no cosechada) (García y González Sanjuan, 2013).

En Argentina, las relaciones aplicación/extracción en grano de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) 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 devolución 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 un retorno 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). Existe un balance negativo de los nutrientes del suelo debido a las bajas tasas de reposición, lo cual determina un creciente empobrecimiento en N, P, K, S y calcio, entre otros elementos esenciales suministrados por el suelo que también son exportados en los granos en distintas cantidades.

Al analizar la superficie sembrada en el país, se observa que el sorgo y el arroz tienen una tendencia estable a lo largo de los años, el trigo y el maíz han comenzado a aumentar, mientras que ha disminuido el área sembrada con girasol en los últimos años. El área sembrada con soja ha aumentado 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).

¹ Instituto de Suelos, CIRN, INTA

* Autor de contacto. Correo electrónico: gcruzate@gmail.com; robertoraulcasas@gmail.com

Como consecuencia de la situación descrita, en los últimos 28 años se ha duplicado el área sembrada pasando de 19.53 millones de hectáreas en la campaña 1988/89 a 38.75 millones de hectáreas en la campaña 2015/16 (**Mapa 1**). En el mismo periodo, la producción se ha cuadruplicado a base de mayores rendimientos (**Figura 2**).

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; Martínez, 2002; Cruzate y Casas, 2003, 2009 y 2012; Fontanetto y Gambaudo, 2010).

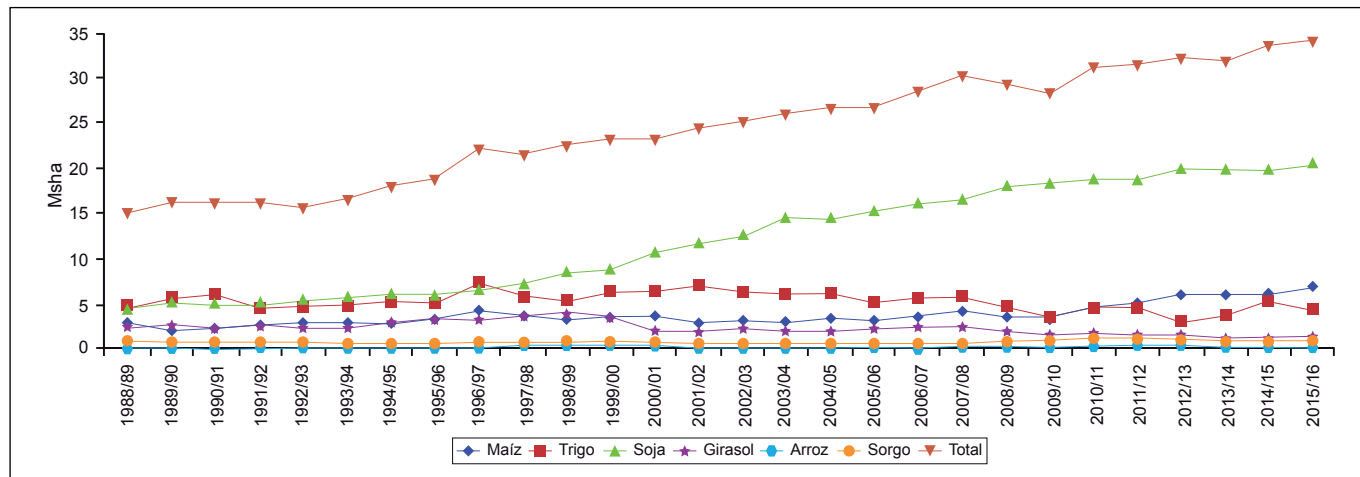


Figura 1. Evolución de la superficie sembrada de los seis principales cultivos agrícolas. Fuente: SIIA, 2017.

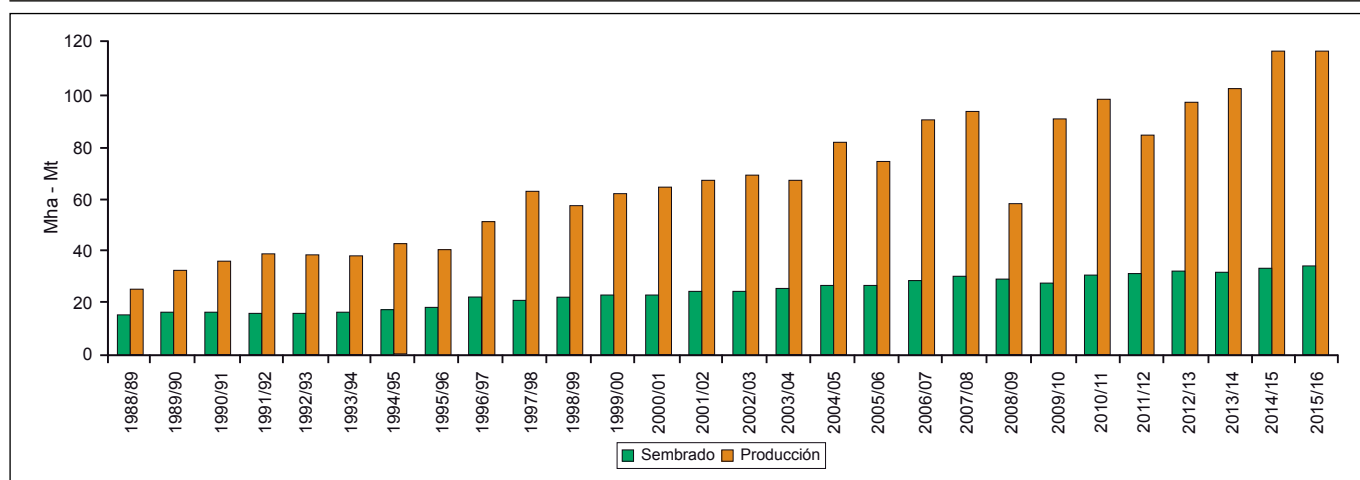


Figura 2. Superficie sembrada y producción de los seis principales cultivos agrícolas. Fuente: Estimaciones agrícolas (SIIA, 2017).

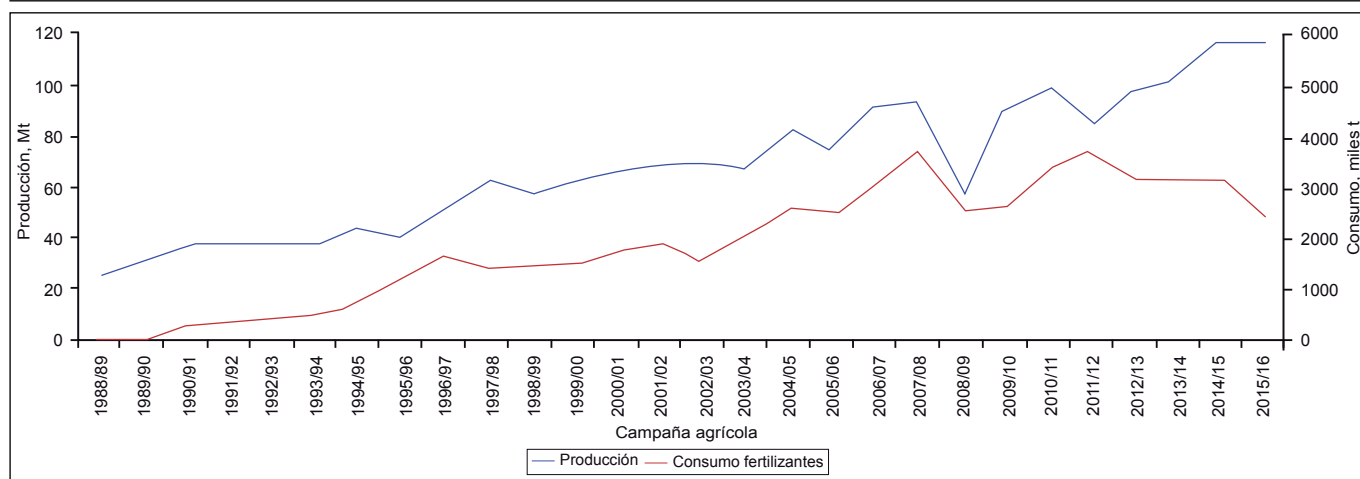
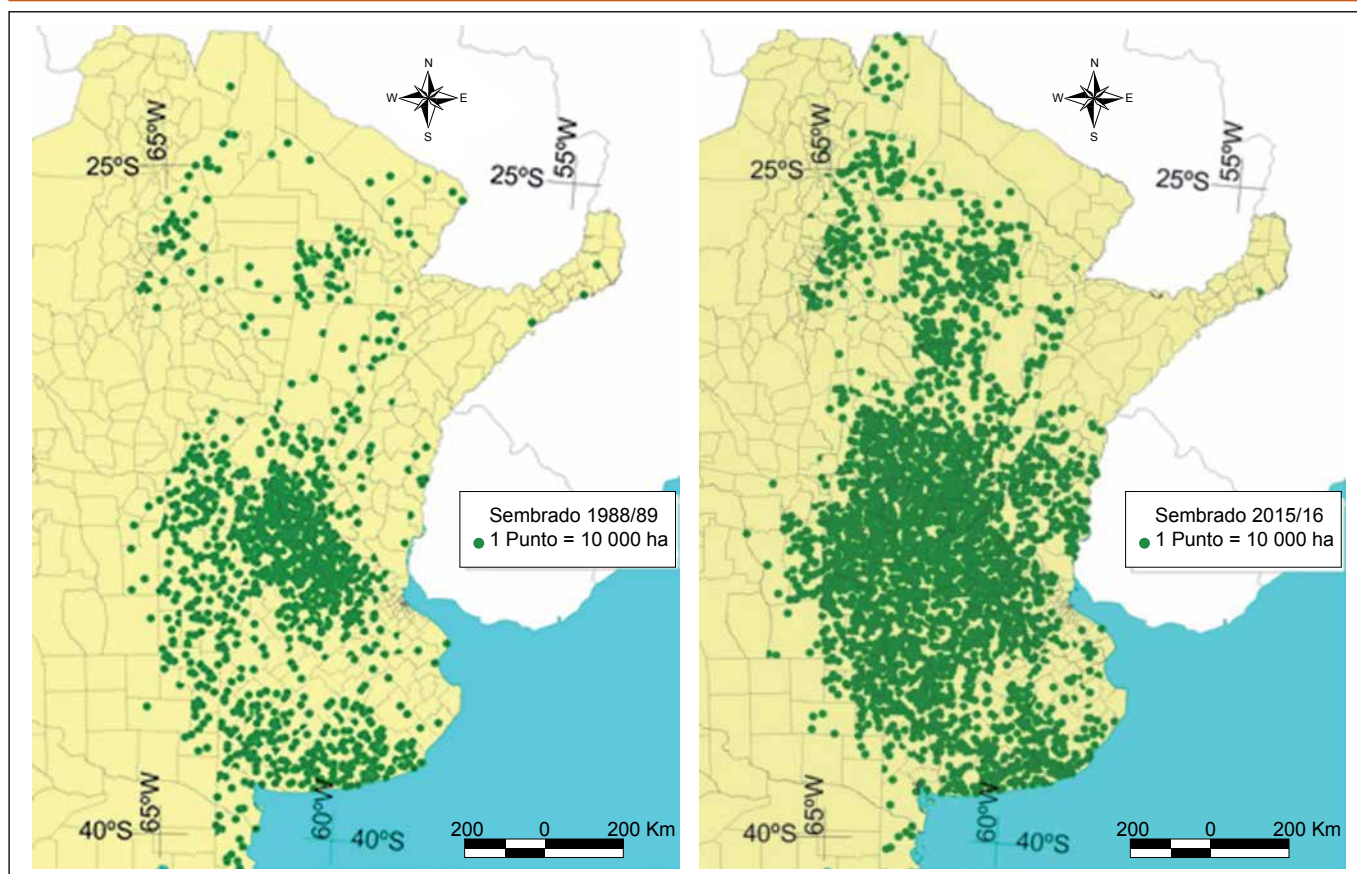


Figura 3. Producción de granos por campaña y consumo de fertilizantes en la República Argentina, Fuentes: Fertilizar, 2017 y SIIA, 2017.



Mapa 1. Distribución de la superficie sembrada en Argentina en las campañas agrícolas 1988/89 y 2015/16.

De acuerdo con información proveniente de la Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos (CIAFA) en la campaña 2010/11, el consumo de fertilizantes fue de 3.37 millones de toneladas (Mt); y en 2011/12 se registró un record de 3.72 Mt de consumo de fertilizantes por la buena relación existente entre el precio de los granos y el de los fertilizantes. En las campañas de 2012/13 a 2014/15 se observa una leve disminución en el uso de los insumos ya que se aplicaron entre 3.12 y 3.20 Mt de fertilizantes. A partir de 2011, se registra un incremento de la producción, pero una disminución en el uso de fertilizantes (**Figura 3**). En la campaña 2015/16, se observa una marcada disminución en el uso de los insumos ya que se aplicaron sólo 2.44 Mt. (Fertilizar, 2017). No obstante, entre enero y noviembre de 2016 (Campaña 2016/17), el consumo de 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).

El presente trabajo es una actualización y ampliación del trabajo previo de Cruzate y Casas (2012). Los objetivos son los siguientes: i) evaluar espacialmente la extracción de los principales nutrientes en la campaña 2015/16 mediante mapas para los cultivos más importantes; ii) estimar el balance de estos nutrientes a nivel nacional; y c) valorizar los principales nutrientes extraídos del suelo.

Materiales y métodos

En base a datos de la bibliografía (García y Correndo, 2016), se calcularon las cantidades promedio de

nutrientes extraídos por los cultivos (**Tabla 1**). A los efectos de estimar la superficie y producción por cultivo, se utilizó información de la campaña agrícola 2015/16 suministrada por el Sistema Integrado de Información Agropecuaria, Estimaciones Agrícolas del Ministerio de Agroindustria (<http://www.agroindustria.gov.ar/datosabiertos/>).

Tomando los datos correspondientes a la producción de soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz, que representan el 94% de la producción de granos de la República Argentina (**Tabla 2**), se calculó la extracción total de nutrientes en los granos por departamento/partido en las provincias productoras, referidos a la superficie total del departamento/partido y a la superficie sembrada.

Partiendo de información satelital 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 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 de los elementos estudiados a partir de la magnitud de la extracción por hectárea en cada departamento (**Mapas 2 a 7**).

El costo económico por la extracción de nutrientes, 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

Tabla 1. Extracción promedio de nutrientes por los cultivos por tonelada de grano producido.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B
	----- kg -----						
Maíz	12.8	2.6	3.4	0.18	1.32	1.18	0.004
Sorgo	17.0	3.1	3.5	0.35	1.12	1.84	0.002
Trigo	17.9	3.6	3.6	0.36	2.14	1.46	0.011
Arroz	12.7	2.9	2.3	0.10	0.88	0.53	0.007
Soja	47.5	5.4	16.4	2.50	3.21	2.86	0.007
Girasol	20.9	6.1	4.8	1.30	2.61	1.96	0.032

Fuente consultada: García y Correndo (2016)

Tabla 2. Superficie sembrada, cosechada y producción agrícola en la cosecha 2015/16 en la República Argentina.

Cultivo	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada	Producción	Rendimiento medio
	----- ha -----	----- ha -----	----- t -----	----- kg ha ⁻¹ -----
Arroz	214 570	207 740	1 404 980	6763
Girasol	1 435 148	1 413 963	3 000 367	2122
Maíz	6 904 538	5 346 593	39 792 854	7443
Soja	20 479 094	19 504 648	58 799 258	3015
Sorgo	842 571	673 550	3 029 330	4498
Trigo	4 381 128	3 953 102	11 314 952	2862
Total estudiados	34 257 049	31 099 596	117 341 741	3425
Total cultivos agrícolas	38 750 459	33 861 370	125 125 293	3229
Estudiados/total	88%		94%	

a junio de 2016. Se utilizaron los precios de cloruro de K (K, 0-0-50), fosfato diamónico [P, 18-46(20P)-0], urea granulada (N, 46-0-0), sulfato de amonio (S, 20-0-0-24S) y carbonato de calcio (Ca). No se consideró al B, pues no se disponía de datos (Revista La Chacra, 2016).

El balance de nutrientes se estimó para cada nutriente siguiendo el modelo de "balance a nivel de superficie del suelo" (Oenema et al., 2003), es decir a partir de la comparación de entradas vía fertilizantes y salidas vía remoción en los granos. Este balance no incluye otras vías de pérdida (lavado, escurrimiento, gaseosas, etc.) o de entrada (deposiciones atmosféricas, otros abonos). Asimismo, se asume que todos los residuos de los cultivos considerados permanecen en el lote de cultivo, una práctica generalizada en cultivos de grano en Argentina.

Resultados y discusión

En la Argentina, la superficie sembrada con los principales cultivos en la campaña 2015/16 (soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz) se distribuyó en 13 provincias (Tabla 3, Mapa 2). Respecto a la campaña 2010/11, la superficie sembrada se ha incrementado en un 9% con 34 058 929 ha, mientras que la producción se ha incrementado un

20% pasando de 90 789 000 t a 117 341 741 t en 2015/16, lo que corrobora el aumento de rendimiento por unidad de superficie en estos últimos años (Cruzate y Casas, 2012).

El aumento de la superficie sembrada es principalmente con los cultivos de maíz, trigo y soja. Córdoba se destaca por el crecimiento de las hectáreas sembradas de los principales cultivos, siendo el departamento de San Justo donde se produjo el mayor crecimiento pasando de 559 000 ha sembradas en la campaña 2010/11 a 1 010 000 ha en 2015/16.

Con los datos de producción se calculó la cantidad de nutrientes extraídos por los cultivos más importantes de la región agrícola argentina (Tabla 4).

En relación a la campaña 2011/12, la extracción total de nutrientes se ha incrementado 20%, debido principalmente al incremento en la producción por una mayor superficie sembrada y al mayor rendimiento de los cultivos.

A base de la información sobre extracción de nutrientes (Tabla 4) y de consumo de fertilizantes (Tabla 5), se

Tabla 3. Superficie sembrada de soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz, en las campañas 2010/11 y 2015/16 por provincia. Fuente: Estimaciones Agrícolas (SIIA, 2017).

Provincia	Superficie sembrada 2010/11	Superficie sembrada 2015/16	Diferencia
	----- ha -----		
Buenos Aires	10 783 398	10 918 521	+135 123
Catamarca	85 000	105 962	+20 962
Chaco	1 297 600	1 276 067	-21 533
Córdoba	6 972 140	8 797 800	+1 825 660
Corrientes	141 439	0	-141 439
Entre Ríos	2 181 600	2 131 750	-49 850
Formosa	29 190	0	-29 190
Jujuy	20 330	16 905	-3 425
La Pampa	1 362 700	1 711 645	+348 945
Misiones	35 370	25 070	-10 300
Salta	940 960	829 949	-111 011
San Luis	376 450	751 906	+375 456
Santa Fe	4 517 727	5 038 712	+520 985
Santiago Del Estero	2 087 970	2 041 142	-46 828
Tucumán	487 940	413 500	-74 440
Total	31 319 814	34 058 929	+2 739 115

Tabla 4. Extracción de nutrientes correspondiente a los principales cultivos de grano durante la campaña 2015/16 (en toneladas).

Cultivo	Producción	N	P	K	Ca	S	B
		----- t -----					
Maíz	39 792 854	509 114	105 334	134 593	7022	46 815	176
Sorgo	3 029 330	51 313	9 273	10 510	1051	5 564	6
Trigo	11 314 952	202 053	40 411	40 411	4041	16 568	121
Arroz	1 404 980	17 844	4102	3282	144	739	10
Soja	58 799 258	2 792 965	314 996	965 988	146 998	167 998	420
Girasol	3 000 367	62 616	18 263	14 350	3914	5870	95
Total	117 341 741	3 635 906	492 379	1 169 133	163 170	243 555	828

realizó el balance de nutrientes para la campaña agrícola 2015/16 (Tabla 6).

De acuerdo a Salvagiotti et al. (2016), en soja, alrededor del 60% del N absorbido por la planta es aportado por la fijación biológica (FBN) por lo que para el balance solo se considera que un 40% del N absorbido es extraído del suelo por lo tanto, de los 2 792 964 t de N extraídos, solo se consideran 1 117 186 t para el balance.

La demanda de fertilizantes se concentra en los principales cereales y oleaginosos cultivados en el país, con una distribución que muestra que un 70% (base consumo 2011/15) se distribuye entre los tres con mayor superficie sembrada: soja, maíz y trigo. Los porcentuales

de participación son muy similares entre estos tres cultivos, con valores del orden del 20% en cada uno. Pero el uso de fertilizante por hectárea implantada es mayor en trigo y maíz. La alta participación del cultivo de soja responde a la dimensión del área sembrada, la que con registros anuales cercanos a las 20 millones de hectáreas, duplica la superficie agregada de maíz y trigo (Mercados Agropecuarios, 2016).

Según datos publicados por Fertilizar (2017b), en la campaña 2015/16, el cultivo con mayor superficie fertilizada fue trigo, con 90% sobre el total de hectáreas sembradas, siguiéndole maíz con 77%, girasol con 68% y soja con 53%. Pocos lotes fueron fertilizados bajo el criterio

Tabla 5. Consumo en toneladas de fertilizantes por producto en 2015. Datos estimados a partir de información de CIAFA (2017).

Fertilizante	Total	N	P	K	Ca	S
		----- t -----				
Cloruro de K	37 064	-	-	18 456	-	-
Fosfato Diamónico	202 634	39 514	40 932	-	-	4053
Fosfato Monoamónico	435 557	52 267	99 743	-	-	4356
Mezclas NPK	52 648	10 530	4633	8740	-	526
CAN	48 740	13 160	-	-	4873.96	-
Nitrato de K	14 719	1913	-	5490	-	-
Superfosfato Triple	81 167.49	-	16 315	-	12 093.96	1055
Superfosfato Simple	285 531	-	28 553	-	46 541.61	37 119
Sulfato de Amonio	14 399	3024	-	-	-	3456
Sulfato de K	7327	-	-	3165	-	1319
UAN (Con su contenido de Sólidos)	289 273	86 782	-	-	-	-
Urea	845 619	388 985	-	-	-	-
Sulfonitrato de Amonio	17 805	4629	-	-	-	2493
Tiosulfato de Amonio	42 380	5086	-	-	-	11 019
Yeso	50 716	-	-	101	12 121.04	8926
Tiosulfato de K	2178	-	-	453	-	370
Otros fosfatados	13 599	1727	1129	884	-	-
Total	2 441 355	607 616	191 304	37 291	75 630.57	75 803

Tabla 6. Balance de nutrientes -toneladas- (extracción por cultivos - reposición por fertilización). Campaña 2015/16.

	N	P	K	Ca	S	Total
Fertilizante	607 616	191 304	37 291	75 631	75 803	987 645
Extraído	1 960 127	492 379	1 169 133	163 170	243 555	4 028 363
Balance*	-1 352 511	-301 075	-1 131 842	-87 539	-167 751	-3 040 719
% aportado	31.0	38.8	3.2	46.3	31.1	24.5

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 de fosfatados.

En la **Tabla 6** se observa que el porcentaje de reposición de nutrientes totales es de un 24.5% de lo extraído, con un 31% de reposición de N, 39% de P, 3% de K, 46% de Ca, y 31% de S, situación que conduce a que los suelos se vayan empobreciendo progresivamente.

Datos de trabajos anteriores indican una reposición del 34% en la cosecha 2006/07 (Cruzate y Casas, 2009) y 34.6% en la campaña 2010/11 (Cruzate y Casas, 2012). Los balances siguen siendo negativos y la relación entre

lo extraído y adicionado, ha empeorado en la campaña analizada en el presente trabajo.

En la **Tabla 7** se realizó una estimación económica en dólares (precios a junio de 2016 sin IVA de acuerdo a Revista la Chacra, 2016) de los elementos deficitarios en los balances para los seis cultivos estudiados en la campaña 2015/16. El valor de los nutrientes deficitarios suma un total de 2914 millones de US\$ para los seis cultivos y los cinco elementos estudiados.

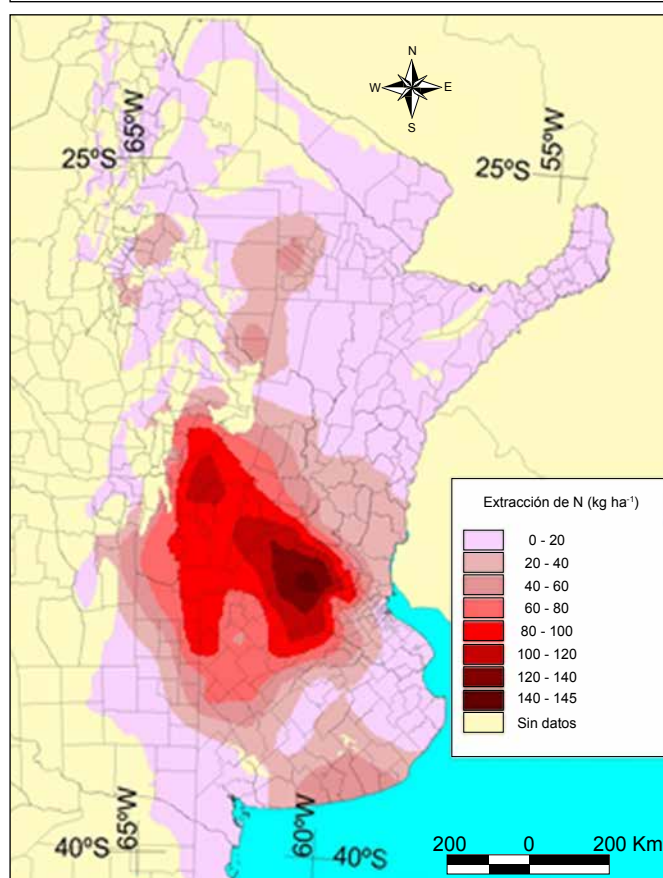
Exportación de nutrientes por hectárea

En los **Mapas 2 a 7**, se muestran las extracciones de cada elemento por unidad de superficie. Las mayores exportaciones de N ocurren en el norte de Buenos Aires (partidos de Salto, Rojas, Pergamino y Colón), con valores que rondan los 153 a 140 kg ha⁻¹ (**Mapa 2**). Si se calcula

Tabla 7. Estimación del valor del balance de nutrientes en Argentina como equivalente en fertilizante.

	N	P	K	Ca	S	Total
Déficit (t)	1 352 511	301 075	1 131 842	87 539	167 751	3 040 718
Fertilizantes comerciales	Urea (46% N)	Superfosfato (20.1% P)	Cloruro de potasio (49.8% K)	Carbonato de calcio (38.8% Ca)	Sulfato de amonio (24% S)	-
t de fertilizante	2 940 241	1 497 885	2 272 775	225 616	698 962	
Precio t fertilizante US\$	350	480	400	53	350	-
Valor en millones US\$	1029	719	909	12	245	2914

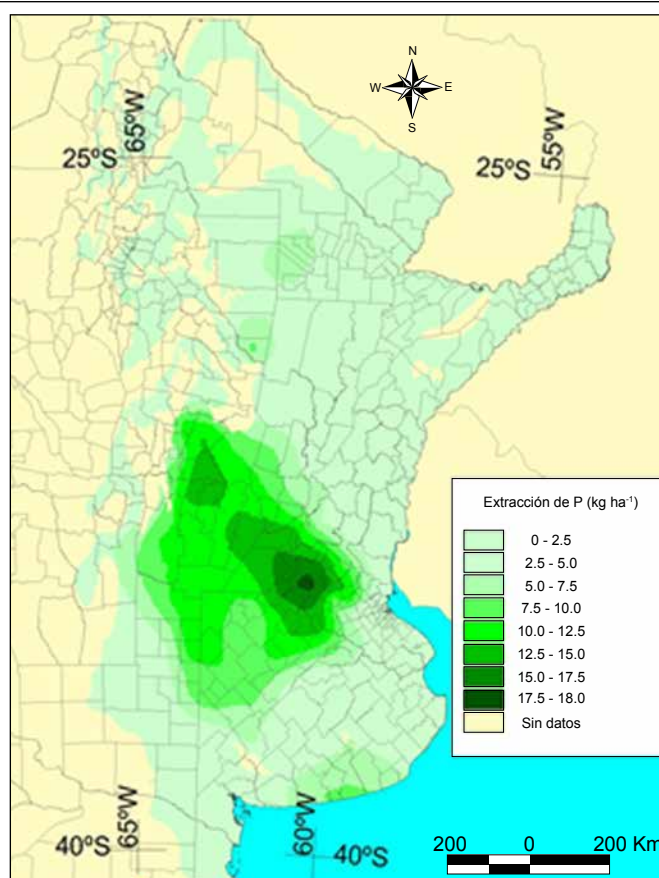
Precios sin IVA en junio de 2016 con un dólar a \$14.27



Mapa 2. Tasa de extracción de N por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.

la extracción por hectárea cosechada, se extrajeron entre 179 y 172 kg ha⁻¹ en los partidos de 9 de Julio, Pergamino, San Nicolás y Rojas, en Buenos Aires. De acuerdo a Sainz Rosas et al. (2014), la agricultura redujo en promedio el 24% de la materia orgánica, respecto de los suelos prístinos, lo que reduce la cantidad de N.

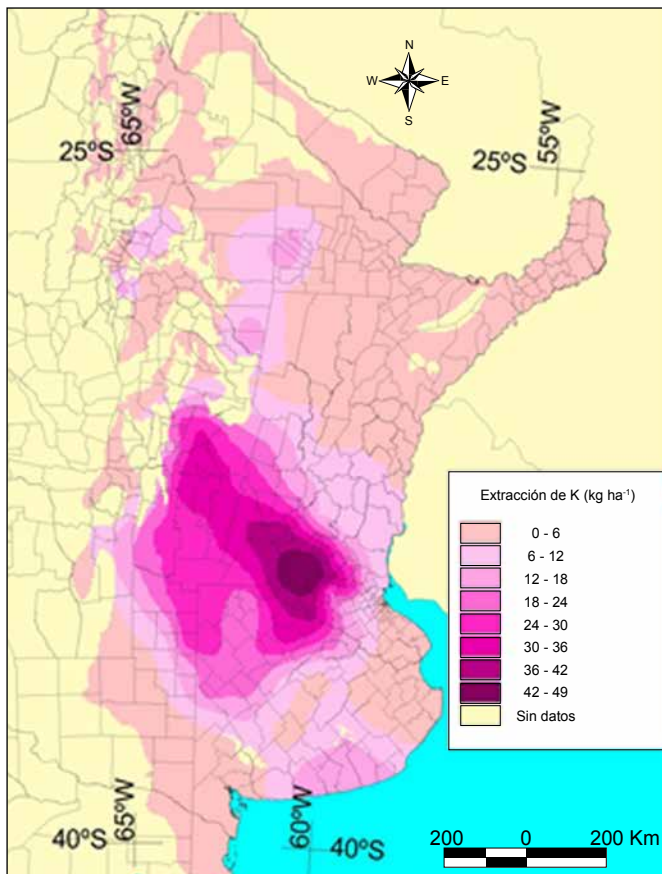
El **Mapa 3** muestra los valores de kilogramos por hectárea del elemento P exportado en los granos. Los partidos con valores mayores son los mismos indicados para el N, correspondientes a la provincia de Buenos Aires, con valores entre 19 y 17 kg ha⁻¹. Extracciones mayores a los 21 kg ha⁻¹ cosechada se produjeron en 9 de Julio, Pergamino, Rojas y Salto. Un estudio realizado por Sainz Rosas y Echeverría (2008) indica que los balances negativos de



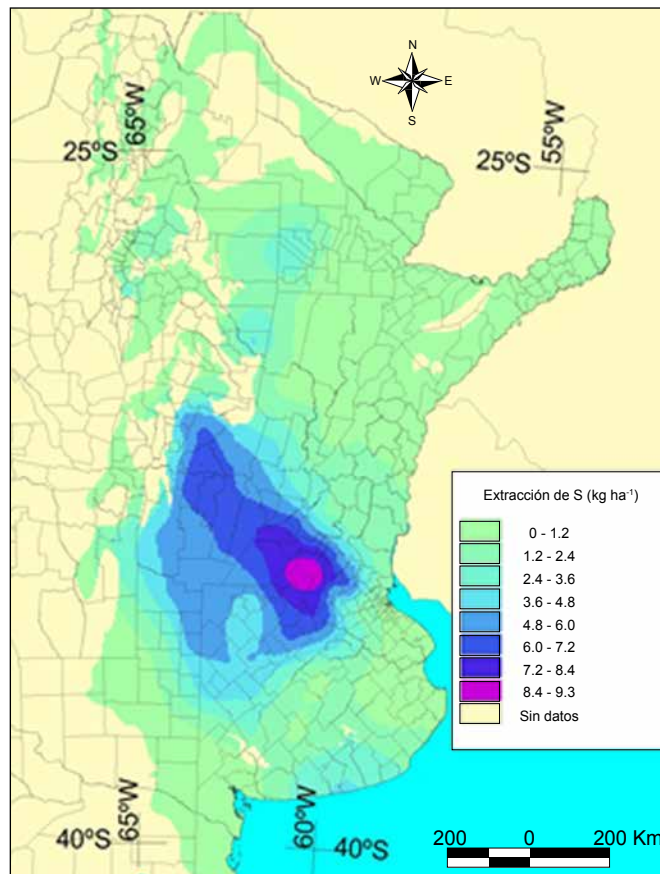
Mapa 3. Tasa de extracción de P por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.

P han resultado en caídas en los niveles de P asimilable en numerosas regiones. Asimismo, Sainz Rosas et al. (2014) observan que la agricultura redujo en promedio un 44% la disponibilidad de P-Bray. Esta reducción en la disponibilidad de P resulta del balance negativo, dado que la reposición promedio de este nutriente para el periodo 1993/11 ha sido menor del 50%, aunque con tendencia a incrementarse en los últimos años. Los valores más bajos de P-Bray se determinaron en la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe y sur de Córdoba.

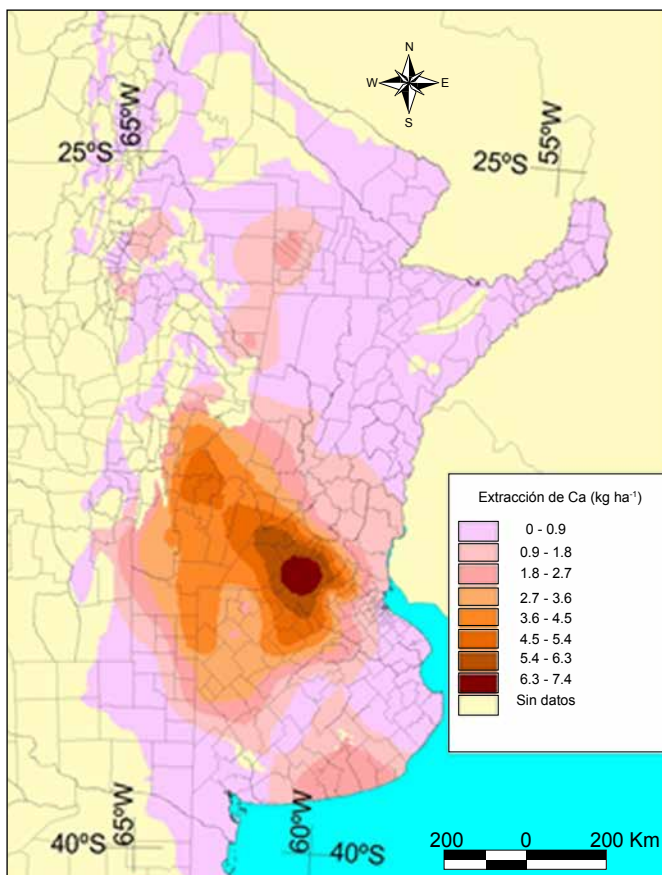
Los mayores valores de exportación de K se presentan en los partidos de Salto, Pergamino, Rojas y Colón, con 51 a 46 kg ha⁻¹ (**Mapa 4**). Si se consideran sólo las hectáreas cosechadas, valores entre a 61 y 58 kg ha⁻¹ se presentan en



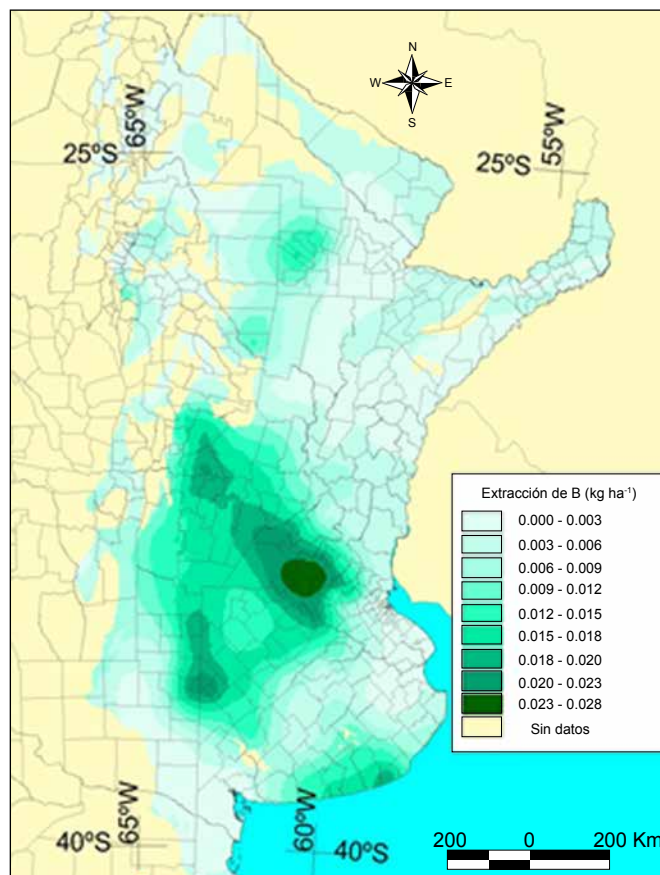
Mapa 4. Tasa de extracción de K por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.



Mapa 5. Tasa de extracción de S por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.



Mapa 6. Tasa de extracción de Ca por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.



Mapa 7. Tasa de extracción de B por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.

los partidos de 9 de Julio, Zarate, San Nicolás y Pergamino. Según García y González Sanjuán (2010), la falta de reposición mediante la fertilización inevitablemente disminuirá la disponibilidad de K a medida que se intensifique la producción. La actividad agrícola disminuyó un 23.5% en promedio el K intercambiable (Sainz Rosas et al., 2014). La reducción producida por la agricultura se observó más marcadamente al noreste de la región por la mayor exportación de K en los granos respecto a Ca y Mg y podría atribuirse al aumento de la frecuencia de soja en las rotaciones. La disponibilidad de K en toda la región es muy alta, con valores dos a tres veces mayores que el umbral de respuesta (150 a 175 ppm), debido a la riqueza de este nutriente en el material originario de los suelos pampeanos (Sainz Rosas et al., 2014).

El **Mapa 5** muestra los valores de kilogramos por hectárea del elemento S exportado en los granos. Los mayores valores se presentan en los partidos de Salto, Rojas, Pergamino y Colón, en la provincia de Buenos Aires, con valores mayores a los 9 kg ha⁻¹. Los mayores valores de exportación de S por hectárea cosechada se presentan en 9 de Julio, Rojas, Pergamino y San Nicolás (Buenos Aires) con valores entre 11 y 10 kg ha⁻¹.

Los mayores valores de exportación de calcio se presentan en los partidos de Salto, Pergamino, Rojas y Capitán Sarmiento con valores que rondan entre 6 y 7.5 kg ha⁻¹. (**Mapa 6**). La exportación mayor por hectárea cosechada se presentó en 9 de Julio, Zarate, San Nicolás y Pergamino con valores entre 8 y 9 kg ha⁻¹. La actividad agrícola produjo disminuciones de alrededor del 12% del calcio intercambiable y disminuyó fuertemente el porcentaje de saturación con calcio (Sainz Rosas et al., 2014). 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. Se han informado respuestas positivas al encalado en soja y alfalfa. La agricultura redujo en promedio alrededor de 0.27 unidades de pH en promedio, que puede explicarse por la baja reposición de bases (Sainz Rosas et al., 2014).

El **Mapa 7** muestra los valores de kilogramos por hectárea del elemento boro exportado en los granos. Los mayores valores se presentan en los partidos de Salto, Rojas, Pergamino y Colón, con valores superiores a los 0.026 kg ha⁻¹. Si se toma en cuenta sólo la superficie cosechada se ve que los valores mayores se presentan principalmente en los partidos de Maipú, General Madariaga (Buenos Aires) y el departamento de Catrilo (La Pampa), con valores superiores a los 0.040 kg/ha de boro.

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 2015/16 se extrajeron 4.03 millones de toneladas de N, P, K, S y Ca, siendo la reposición de 0.99 millones de toneladas lo cual representa un 24.5% 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 concentradas en el norte de la provincia de Buenos Aires principalmente en los partidos de 9 de Julio, Pergamino, Rojas y Salto superando a los departamentos de Córdoba tal como se vio en el trabajo anterior.

Existe un balance negativo de los nutrientes del suelo debido a las bajas tasas de reposición, lo cual determina un creciente empobrecimiento en N, P, K, S, Ca y B, entre otros elementos esenciales suministrados por el suelo que también son exportados en los granos en distintas cantidades. Por otra parte, el germoplasma y las tecnologías empleadas en la agricultura moderna de alta producción, incrementan continuamente los rendimientos de los cultivos y con ello, la tasa de extracción de nutrientes del suelo.

A los efectos de lograr planteos agrícolas sustentables debemos trabajar dentro de la fase en que los suelos mantienen su calidad en un nivel adecuado. En esta fase, la práctica de la fertilización permite ingresar en un círculo virtuoso aumentando los rendimientos, acumulando mayor cantidad de residuos de cosecha y mejorando el aporte de carbono al suelo.

La fertilización debe analizarse sobre toda la rotación y no solamente sobre un cultivo particular ya que deben evaluarse aspectos tales como residualidad de los nutrientes, producción de residuos en cantidad y calidad, y efectos sobre la estructura y la actividad biológica del suelo. Debe orientarse a balancear los nutrientes que se adicionen en función de los requerimientos de los cultivos de la rotación y la composición particular del suelo. Además del N, P y S, se deberá prestar especial atención a nutrientes como Ca y Mg por el rol que desempeñan en la estructuración y actividad biológica del suelo, además de la importancia para la nutrición de los cultivos.

Bibliografía

- Ambito. 2017. Por el impulso al campo, el consumo de agroquímicos y fertilizantes creció un 47%. 12 Enero 2017. <http://www.ambito.com/869185-por-el-impulso-al-campo-el-consumo-de-agroquimicos-y-fertilizantes-crecio-un-47>
- 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
- Casas, R.R. 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos: una oportunidad para la Argentina. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria; Anales: Tomo LX. Buenos Aires.
- Casas, R.R. 2016. La erosión del suelo en la Argentina. Anales de la Academia Nacional de Geografía. Buenos Aires.

- CIAFA. 2017. Consumo de fertilizantes 2015. Cámara de la industria argentina de fertilizantes y agroquímicos. <http://www.ciafa.org.ar/files/WKtNkYAJ72xppWqLgPvbdFywAE8qGAwuDyYaiD8f.pdf>
- Cruzate, G.A. y 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. y 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. y 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.
- Fertilizar Asociación Civil. 2017. Evolucion Consumo 1990-2015. <http://www.fertilizar.org.ar/subida/Estadistica/Evolucion%20de%20Consumo%201990%202013/EvolucionConsumo1990-2015.pdf>
- Fertilizar Asociación Civil. 2017b. Consumo de Fertilizantes en todos los cultivos 2015. <http://www.fertilizar.org.ar/subida/Estadistica/Consumo%20de%20Fertilizantes%20en%20todos%20los%20cultivos/Consumo%20de%20Fertilizantes%20en%20todos%20los%20cultivos%202015.pdf>
- Fontanetto, H., y S. Gambaudo. 2010. El balance de nutrientes para sistemas agropecuarios sustentables. Ergomix.com. consultado en 2011 en www.produccion-animal.com.ar
- García, F.O. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. INPOFOS. Informaciones Agronómicas; No. 29. Marzo.
- García, F.O., y M.F. González Sanjuán. 2010. Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? IPNI. Informaciones Agronómicas del Cono Sur # 48 pp. 1-5.
- García, F.O., y M.F. González Sanjuán. 2013. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos? IPNI - Marzo.
- García, F.O., y A.A. Correndo. 2016. Cálculo de Requerimientos Nutricionales - Versión 2016. IPNI, <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>
- García F.O., M.A. Taboada, M.F. González Sanjuán, y L.I. Picone. 2013. El nitrógeno en la agricultura argentina. Alternativas para incrementar la eficiencia de uso en los cultivos de grano y mitigar las emisiones de óxido nitroso. Jornada de Fertilizar Asociación Civil.
- Martínez, F. 2002. La soja en la Región Pampeana. IDIA Año II No 3.
- Mercados Agropecuarios. 2016. Publicación de la Subsecretaria de Mercados Agropecuarios Nro 1 Dic 2016. http://www.agroindustria.gov.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/publicaciones/revista_mercados1.pdf
- Oenema O., H. Kros, W. de Vries. 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *Europ. J. Agronomy* 20:3-16.
- Reca, 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.
- Revista La Chacra. 2016. ¿Cuánto cuestan los Insumos agrícolas? <http://www.revistachacra.com.ar/nota/522/>
- Sainz Rosas, H., y H. Echeverría. 2008. Relevamiento de la concentración de fósforo asimilable en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana. Actas CD XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. AACs. Versión CD.
- Sainz Rozas, H., H. Echeverría, P. Barbieri, y M. Eyherabide. 2014. Relevamiento y Mapeo de la fertilidad en suelos agrícolas de la región pampeana Argentina. Revista Fertilizar No. 29 <http://fertilizar.org.ar/subida/revistas/29.pdf>
- SIIA. 2017. Sistema integrado de información agropecuaria. Ministerio de Agroindustria de la República Argentina. http://www.siiia.gov.ar/sst_pcias/estima/estima.php
- Salvagiotti, F., D.J. Collino, A. Peticari, C. Piccinetti, y G. Ovando, S. Urquiaga, y R.W. Racca. 2016. El aporte de la fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja en Argentina. <https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta-16.fijacion-biologica-nitrogeno-en-soja-argentina.pdf>