



Extracción agrícola de bases en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina: costo de su remediación e implicancias económicas

Pablo R. Gelati¹

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires
Argentina

pgelati@ceres.agro.unlp.edu.ar

Mabel E. Vázquez¹

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires
Argentina

mevazquez@infovia.com.ar

Fecha de recepción: 12/02/2007. Fecha de aceptación: 07/08/2007

Resumen

El lavado de nutrientes edáficos básicos, su extracción agropecuaria, la fertilización y la deposición de compuestos de N, S e H presentes en la atmósfera, entre otros, causan acidificación edáfica. La escasez y el desbalance nutricional ocasionado limita la producción vegetal. Este fenómeno se advirtió recientemente en la Región Pampeana Argentina, donde la reposición de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ ha sido limitada en el pasado.

El objetivo del trabajo fue evaluar la extracción de bases causada por la agricultura en el norte de la provincia de Buenos Aires (1.684.753 ha) durante el período 1970-2003, cuantificar económicamente su remediación y analizar sus implicancias económicas.

La extracción de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} fue estimada en 682.692, 88.443 y 155.479 Mg totales para la región, respectivamente, en el período considerado. El costo de la reposición para suelos cultivados con soja, maíz, trigo y girasol es de u\$s 414.000.000; 127.300.000; 86.200.000 y 16.000.000, representando 6,6%, 3,4%, 4,0% y 2,9% del ingreso debido a su producción.

El análisis socioeconómico regional señala condiciones actuales de agravamiento de los factores predisponentes a la problemática edáfica, la potencialidad de perjuicios económicos para la región y el país, y marca la necesidad de estrategias de gestión que favorezcan la reposición de estos elementos.

Palabras clave: Acidificación, Encalado, Balance de nutrientes, Fertilización, Sustentabilidad.

Abstract

The leaching of basic edaphic nutrients, its farming extraction, fertilization and the N, S and H compounds deposition from the atmosphere, among others, cause edaphic acidification. The shortage and provoked nutritional unbalance limit the vegetal production. This phenomenon has recently been noticed in the Pampeana Region of Argentina, where the replacement of Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+ was limited in the past.

The objective of this work has been to evaluate the extraction of bases caused by agriculture in the north of the province of Buenos Aires (1,684,753 ha) within the mentioned region (1970-2003), to quantify economically its remediation and to analyze its socioeconomic implications. Principio del formulario

The extraction of K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} has been estimated in 682,692; 88,443 and 155,479 Mg for the total region, respectively, and the considered period. Replacement costs are u\$s 414.000.000; 127.300.000; 86.200.000 and

¹ Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires. Argentina.



16.000.000 for fields cultivated with soybean, maize, sunflower and wheat, representing 6.6%, 3.4%, 4.0% y 2.9% of the income derived from its production. The regional socioeconomic analysis indicates present conditions worsening of the predisposing factors to the edaphic problematic situation, the potentiality of economic damages for the region and the country, and it marks the necessity of management strategies that favor the replacement of these elements.

Key words: Acidification, Limed, Balance of nutrientes, Fertilization, Sustainability.

1. Introducción

El complejo proceso de acidificación de los suelos acontece naturalmente a través de la pérdida de iones básicos (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+) por lavado hacia capas de suelo más profundas o napas de agua, con su posterior reemplazo por Al^{3+} , Fe^{3+} e H^+ , en el complejo de intercambio catiónico del suelo. Dicho complejo está constituido por intercambiadores coloidales de naturaleza inorgánica y orgánica, los que ejercen atracción eléctrica a los iones de signo contrario. En suelos agrícolas con predominio de cargas negativas de los intercambiadores, esto constituye una de las principales fuentes de reserva de nutrientes de carácter básico. El lavado de Ca^{2+} y Mg^{2+} fue evaluado en 185 y 13 $kg\ año^{-1}\ ha^{-1}$ respectivamente, en suelos de tipo Argiudol Típico del N de la Provincia de Buenos Aires, con 1000 mm de precipitación anual (Irurtia 2004)

La actividad del hombre puede incidir en la acidificación del suelo, principalmente a través de la extracción de bases causada por las cosechas de productos agropecuarios, sin su consiguiente reposición. Las plantas se proveen de estos elementos a partir de la solución del suelo. Incorporados en los vegetales, una proporción de ellos es extraída con la cosecha. La proporción depende de la especie vegetal y el órgano de cosecha, su rendimiento y el elemento en consideración (Vázquez et al. 2000; Gelati y Vázquez 2004; Lemenih et al. 2004). Otra causa de afectación antrópica es el empleo de fertilizantes acidificantes. Algunos fertilizantes, principalmente los nitrogenados, en particular los amoniacales, en condiciones normales de oxidación en el suelo, es decir de buena aireación, dejan residuos protonados (H^+), que son causa de acidificación (Vázquez 2005:161). En estudios recientes se ha demostrado la importancia de la deposición de elementos

atmosféricos acidificantes provenientes de la actividad industrial y otras fuentes de contaminación. Blake et al. (1999) estiman que en la Estación Experimental de Rothamsted en Inglaterra, mientras a principios del siglo 20 sólo el 30% de los ingresos acidificantes al sistema "suelo" provenía de la atmósfera, a partir de la década del 80, el 80% tiene este origen. Se trata fundamentalmente de gases relacionados al N, S e H.

Argentina es un país muy extenso en superficie, lo que lo hace muy variable en condiciones edáficas y climáticas. Posee prácticamente todos los órdenes edáficos taxonómicos y climas, que van desde la aridez hasta las condiciones subtropicales. Su principal actividad económica es la producción agrícola-ganadera. En la región central se encuentra ubicada la denominada Región Pampeana o Pampa Argentina, la cual involucra a las provincias de Buenos Aires, parte de La Pampa, Santa Fe y Córdoba. Se trata de un área de clima templado húmedo a subhúmedo, con predominio de suelos del orden Molisol y grandes grupos Argiudol y Hapludol (Atlas de la República Argentina, SAGyP (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación) / INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) 1990). Son suelos que, en general, tienen buenas condiciones agrícolas, con un horizonte superficial de entre 2 y 3,5% de materia orgánica, más desarrollados y con texturas más finas al este. En general el material original ha sido el denominado loess pampeano, de gran riqueza mineralógica (Teruggi 1957). Las características de esta región la constituyen en una de las más fértiles de este país.

Si bien la acidez del suelo es un fenómeno muy extendido en regiones tropicales y subtropicales, a causa de los intensos procesos de meteorización de los materiales



originales edáficos y consecuente lavado de las bases, algunos suelos de regiones templadas como la descrita, ajenos a este fenómeno genético, están padeciendo procesos de esta índole debido a la historia productiva de los mismos (Vázquez 2005). En esta región de 48.000.000 ha se concentra más del 80% de la producción agropecuaria nacional (SAGPyA (Estadísticas en línea) 2005). Procesos como la agriculturización, es decir, la conversión de sistemas productivos con rotaciones, los cuales incluyen cultivos de cosecha y pasturas perennes; hacia sistemas más exportadores de estos elementos como los cultivos de cosecha como única actividad productiva, así como, el aumento de los rendimientos por unidad de superficie de los mismos, y el concepto de cortoplacismo económico para la toma de decisiones y por lo tanto poco proclive a reponer los nutrientes extraídos, han sido algunas de las causales de la degradación edáfica regional (Vázquez 2005).

Existen en el mercado productos para la reposición de las bases. En el caso del Ca^{+2} puede utilizarse la caliza, la cal viva o apagada y la conchilla molida; para la reposición de Ca^{+2} y Mg^{+2} , la dolomita y para el agregado de K^+ el KCl, sintetizado a partir de la silvita.

Cabe destacar que en las circunstancias descritas anteriormente, además de la acidificación se produce un desbalance de bases igualmente perjudicial para el crecimiento de las plantas, siendo las leguminosas las especies más afectadas (Vázquez et al. 2002; Vázquez 2005). La nutrición vegetal está condicionada no sólo por las concentraciones absolutas de los nutrientes en la solución edáfica, si no también por las concentraciones relativas de cada uno de ellos respecto de otros elementos, con los cuales pueden tener interacciones de sinergismo o antagonismo. En el caso particular de las bases, se han encontrado evidencias de afectación de la nutrición a causa de la proporción que ellas representan en el complejo de intercambio y sus respectivas relaciones (Lierop et al. 1979; Fox & Piekielek 1984; Moseley & Baker 1991; Oliveira y Parra, 2003).

La reposición de los nutrientes básicos en la región aludida, ha sido inexistente o muy reducida en el pasado (SAGPyA 2005) y fundamentalmente mediante el criterio de encalado y neutralización de la acidez, en lugar de una reposición equilibrada de los mencionados nutrientes, atendiendo el balance de bases mencionado. Esto significa abordar las consecuencias más que controlar las causas que le dieron origen.

Un sistema de producción sin reposición de nutrientes que carecen de mecanismos naturales para ello, se opone al concepto de sustentabilidad desarrollado en las últimas décadas, pues el mismo conduciría a un empobrecimiento del suelo creciente en estos elementos, limitando progresivamente los rendimientos, hasta la situación extrema de impedir el desarrollo vegetal. Algunos antecedentes locales serían prueba de esta limitación regional para la alfalfa y la soja en particular (Vázquez 2005). Por otro lado, Spedding (1995) afirmó que mientras haya producción no habrá sustentabilidad, lo que sí existe son trayectorias mas o menos sustentables. Concordantemente, Lee (1993) sostuvo que la sustentabilidad debe ser una meta deseable, no para ser alcanzada en su totalidad, sino para guiar una acción constructiva, apuntando a ella sin la esperanza de alcanzarla. Por otro lado, Harte (1995), afirmó que la agricultura sustentable requiere mantener el capital natural, que en el caso en análisis, significa reponer, totalmente o al menos parcialmente, los elementos extraídos, a través de productos que los contengan, en este caso podrían ser calizas o dolomitas, entre otros.

No existe un total acuerdo acerca de cuál/es deben ser los indicadores de la sustentabilidad y la estabilidad de este capital natural (Torquebiau 1992; Smith & Thwaites 1998; Sarandón 2002). Algunos autores han considerado que el balance de nutrientes puede ser una herramienta útil para evaluar prácticas sustentables de agricultura (Smaling y Fresco 1993; Stoorvogel 1993; Koning et al. 1997; Brindabran et al. 2000; Stoorvogel 2000). La utilización del balance de nutrientes puede requerir de evaluaciones complejas. Janssen (1999) lo definió como la diferencia



entre fuentes de ganancias y pérdidas en un agroecosistema delimitado. En la literatura pueden encontrarse diferentes intentos de modelización de estos balances, los que en general consideran 4 fuentes de ganancia (fertilizantes de síntesis, abonos orgánicos, deposición atmosférica y sedimentación) a excepción del balance de N, donde debe adicionarse la fijación biológica, y 5 fuentes de pérdida (productos cosechados, remoción de residuos de cosecha, lavado, pérdidas gaseosas y erosión) (Stoorvogel 1993; Smaling y Fresco 1993; Stoorvogel et al. 1993; Koning et al. 1997; Jansen, 1999; Stoorvogel 2000). Puede comprenderse que el cálculo de estos modelos resulta complejo, especialmente a nivel regional. Sin embargo en situaciones agrícolas en donde el proceso de erosión/sedimentación está controlado, y especialmente en el caso de elementos carentes de formas gaseosas o fijación biológica a partir de la atmósfera, el principal ingreso lo constituye la fertilización.

La posibilidad de controlar procesos de lixiviación de las bases es muy limitada, de manera que focalizar las pérdidas en la extracción que realiza la producción y sus posibilidades de control, sería la herramienta más adecuada en la optimización de los balances nutricionales. Cabe señalar, adicionalmente, que un suelo que se acidifica, disminuye las cargas variables coloidales dependientes del pH de signo negativo y por lo tanto con posibilidades de retener cationes. Simultáneamente la acidez aumenta la posibilidad de solubilización de sales de Ca^{2+} y Mg^{2+} , con su posterior migración profunda. Es por ambas razones que controlar la acidificación reduce la posibilidad de lixiviación de las bases, propiciando balances menos negativos.

Calcular balances simplificados cuyos términos sean la fertilización y la cosecha, puede constituir, por lo tanto, una herramienta simple para la evaluación de la sustentabilidad y el costo de la remediación, cuando los sistemas productivos se alejan de ella (Sarandón 2002). Tal es el caso de la región bajo estudio y los elementos evaluados (K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}).

Esto puede servir de base para delinear estrategias de control de los procesos degradativos en los planteos productivos y hacerlos menos agresivos al suelo.

Se plantea como hipótesis que la estimación de la extracción de bases calculada en función de la producción de soja, maíz, trigo y girasol (1970-2003), principales cultivos de la provincia de Buenos Aires, Argentina, permitirá dimensionar este proceso de pérdida y cuantificar económicamente su remediación, a los fines de sentar bases y propiciar políticas de gestión que tiendan a la sustentabilidad de estos sistemas agrícolas.

El objetivo de este trabajo fue evaluar para diez partidos de la región norte de la Provincia de Buenos Aires con una superficie total de 1.684.753 ha, limitada por la isohieta de 800 mm y la isoterma de 16,3°C, la extracción de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} causada por la agricultura y cuantificar económicamente su remediación mediante el agregado de KCl y dolomita (Ca/MgCO_3), productos habitualmente utilizados para la corrección de esta problemática en otros ámbitos, en el marco socio-económico regional.

2. Materiales y Métodos

Características generales del área de estudio

La Provincia de Buenos Aires se extiende entre los 33° 41' de latitud S y los 57° 64' de longitud O. En su mayor parte es una amplia llanura cuya superficie está formada por suelos desarrollados a partir de sedimentos no consolidados de edad cuaternaria, conocidos como loess pampeano. Se trata de un sedimento limoso, con proporciones menores de arena y arcilla, destacándose en su composición mineralógica los materiales de origen volcánico-piroclástico, con CaCO_3 , sin estratificación y color pardo rojizo. Entre las arcillas se destacan las vermiculitas, illitas y en menor medida montmorillonitas (Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, SAGyP/INTA 1989). Es una zona de clima templado con efecto moderador oceánico. El trabajo fué realizado en la sección norte de la mencionada provincia, seleccionada por su



intensa actividad agrícola del pasado y el marcado proceso de agriculturización del presente. El área seleccionada está limitada al norte y este, por los límites políticos provinciales y al este y sur, por la isohieta de 800 mm y la isoterma de 16,3°C. El régimen hídrico es isohigro, de características húmeda-subhúmedas (Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, SAGyP/INTA 1989). Los suelos dominantes de la región son del orden Molisol de régimen údico, siendo los Grandes Grupos Argiudol y Hapludol los de mayor representación areal en la sección seleccionada, especialmente en los suelos agrícolas. Los subgrupos dominantes al este son Argiudol Típico y Vértico, y al oeste, Hapludol Taptoárgico y Entico. La textura, por ende, es más fina al este y más gruesa al oeste, pudiendo pasar desde condiciones de franco-arcilloso a arcilloso en el primer caso a franco-arenoso a arenoso en el segundo. De la misma manera los suelos que poseen horizontes argílicos (alta acumulación de arcilla eluvial) muy potentes al este, van perdiendo esa característica hacia el oeste, constituyéndose en perfiles con horizonte subsuperficial cámbico (baja acumulación de arcilla eluvial). Las características descritas son causal de condiciones de gradación en el complejo de intercambio. La capacidad de intercambio catiónica (CIC) en los suelos del este puede llegar a valores de 30 cmolc kg⁻¹ en los horizontes argílicos, a cifras del orden de la decena, en los suelos del oeste. En ambos casos la saturación básica en su conjunto (suma de bases/CIC), en general es mayor al 70%, siendo el Ca²⁺ el elemento dominante (Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, SAGyP/INTA 1989).

La principal actividad económica es la agrícola-ganadera, con mayor proporción de agricultura en el este y de ganadería en el oeste. Sin embargo, en toda la región se ha ido produciendo un aumento de la actividad agrícola en los últimos años, llevando en muchos casos los planteos productivos hacia la agricultura permanente con un incremento sustancial de los rendimientos. Dentro de los cultivos de mayor difusión areal se encuentran la soja, el trigo, el maíz y en

menor medida, el girasol. La actividad ganadera, especialmente en los suelos del oeste bonaerense, se desarrolla mayoritariamente sobre base de alfalfares y pasturas consociadas con leguminosas (SAGPyA (Estadísticas en línea) 2005). La fertilización en general fue muy reducida en el pasado y a partir de la década del 90, con una relación cambiaria más favorable, se incrementó notablemente, siendo los fertilizantes nitrogenados y en menor medida, fosforados, los utilizados.

La siembra directa aumentó progresivamente en los últimos años por sobre los laboreos convencionales. De la misma manera fue perdiendo importancia la quema o pastoreo de los rastrojos, predominando la permanencia de los mismos, con o sin incorporación, en los lotes donde se produjeron.

Cálculo de la extracción física de bases a causa de la producción agrícola

Para realizar el cálculo de la extracción de bases causado por los cultivos de grano más difundidos en la región (soja, maíz, trigo y girasol), se utilizaron estadísticas de producción suministradas por la SAGPyA (Estadísticas en línea, 1970-2003) (véase Figura 1) y la concentración de estos elementos en los mencionados granos, a partir de datos bibliográficos (véase Cuadro 1). El producto de estas 2 componentes, permite estimar la cantidad de cada una de las bases extraídas por las cosechas de estos cultivos, así como la extracción general de las mismas (véase Cuadro 4). Cabe aclarar, que si bien pueden existir diferencias en las concentraciones de estos elementos en los granos, en respuesta a los contenidos edáficos y características genéticas de los materiales de cultivo, en general, se aceptan concentraciones estándares para cálculos de esta naturaleza a nivel regional, por la magnitud reducida de la variabilidad y sus efectos compensatorios (Sarandón 2002).



Cálculos económicos

Para realizar los diferentes cálculos económicos del fenómeno estudiado, se empleó el precio del dólar promedio para el período 2001-2005. Los precios de los granos, FOB (*Free on board*, Franco a bordo, es el precio de un bien exportado en el punto de salida del país exportador, cargado en la nave o sobre otros medios de transporte que lo llevarán al país importador) (FAO en línea 2006) fueron ponderados por la producción en el mismo período y se tomaron los meses más representativos (véase Cuadro 2).

Los precios de los fertilizantes y las enmiendas se fijaron a partir de información suministrada por firmas comerciales promedio de 2001-2006 (véase Cuadro 3).

- a) Costo de reposición de bases: se efectuó multiplicando las bases extraídas (véase Cuadro 4) por el costo de los productos correctores, grado y flete (véase Cuadro 3).

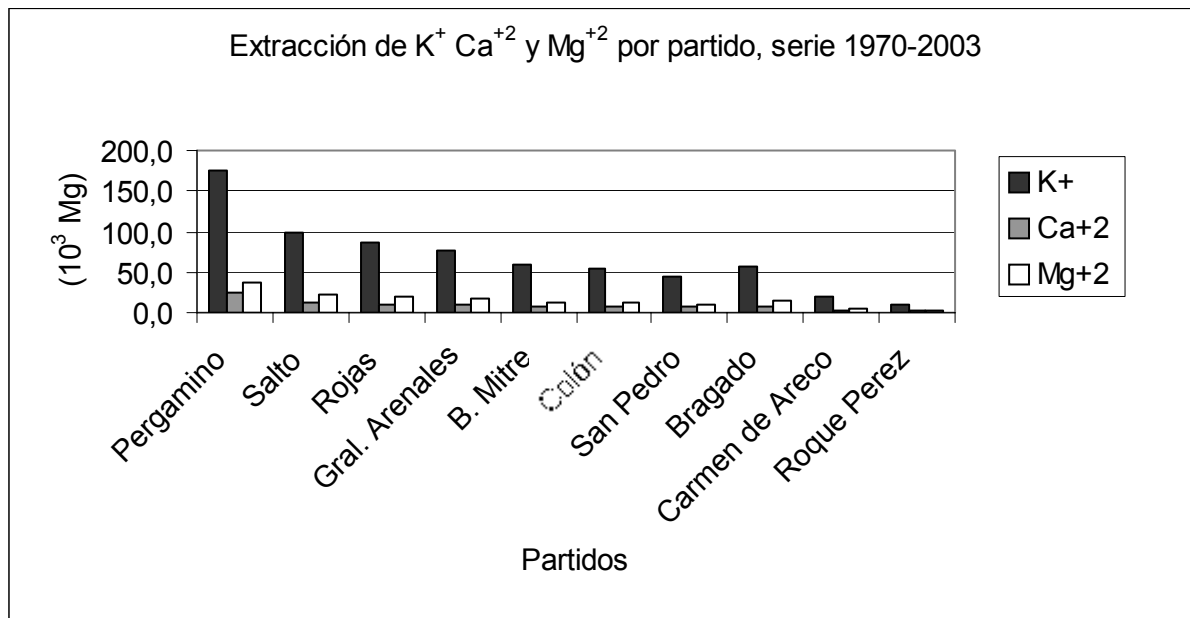
- b) Márgenes Brutos: se asumieron rendimientos promedio para la región de los cuatro cultivos (soja, maíz, trigo y girasol) (SAGPyA (Estadísticas en línea), 2005), haciéndose los cálculos en situaciones con y sin reposición de bases, siendo:

Margen bruto = ingreso neto – costo total

Ingreso neto = (rendimiento x precio del grano) – gastos de comercialización

Costo total = Σ costos (labranzas, semilla, inoculante, fungicida, agroquímicos, fertilización c/ N y P, cosecha, (con y sin) reposición de bases)

Figura 1. Producción de soja, maíz, trigo y girasol para diferentes partidos del norte de la Provincia. de Buenos Aires (1970 – 2003)



Fuente: (SAGPyA (Estadísticas en línea) 2005)



Cuadro 1. Concentración de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en grano de maíz, soja, trigo y girasol. (kg nutriente Mg^{-1} grano $^{-1}$)

c	Kg de elemento Mg^{-1} grano $^{-1}$			
	Soja	Maíz	Trigo	Girasol
K^+	16,30	3,40	4,70	6,09
Ca^{+2}	2,50	0,20	0,38	1,68
Mg^{+2}	2,80	0,95	1,99	2,90
Total	21,60	4,55	7,07	10,67

Fuente: Elaboración propia con base en los datos extraídos para las diferentes especies y elementos de Thompson et al. 1980: 361 y 389; Mengel et al. 2000; Ventimiglia et al. 2000

Cuadro 2. Precio FOB de granos, precio ponderado por producción período 2001-2005

Cultivo	Precio FOB u\$s Mg^{-1}	Meses representativos analizados
Soja	221,5	Mayo - junio
Maíz	94,8	Marzo - junio
Trigo	127,4	Diciembre - febrero
Girasol	235,1	Abril - junio

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3. Precio FOB de KCl y dolomita incluido flete al 06/02006

Producto	Elemento Grado (%)	Precio + IVA + flete u\$s Mg^{-1}
KCl	K^+ 49,8	384,3
Dolomita	Ca^{+2} 20,7	81,0
	Mg^{+2} 10,8	81,0

Fuente: Elaboración propia, con base en información de firmas comerciales

Cuadro 4. Extracción de bases (K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , para diferentes cultivos y partidos de la zona norte de la Provincia de Buenos Aires (1970-2003)

	Bases extraídas por partido K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}	Superficie del partido ha	Bases extraídas por unidad de superficie para el período 70-03	Bases extraídas por unidad de superficie y año para el período 70-03
	Mg		$Mg\ ha^{-1}$	$kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$
Salto	133.892	161.316	0,83	25,2
Pergamino	237.553	300.700	0,79	23,9
Colón	72.160	98.849	0,73	22,1
Gral. Arenales	103.899	148.427	0,70	21,2
Rojas	116.082	196.749	0,59	17,9
Arrecifes	78.706	160.625	0,49	14,8
San Pedro	61.632	131.132	0,47	14,2
Bragado	80.165	221.200	0,36	11,0
C. de Areco	27.189	104.573	0,26	7,9
Roque Pérez	15.337	153.370	0,10	3,0
Total	926.614	1.684.753	0,55	16,7

Fuente: Elaboración propia. Nota: (*): Se calcula como producción de cada cultivo Partido-1 y se lo divide por la superficie total del Partido

3. Resultados y discusión

Extracción de bases

La extracción de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} calculada en función de la concentración en grano y el nivel de producción de los diferentes cultivos en las distintas unidades políticas en que se divide la región (Partidos), se transcribe, para el período considerado, en el Cuadro 4.

A partir de los datos consignados en el Cuadro 1 puede apreciarse la considerable diferencia de extracción de nutrientes básicos por unidad de peso de grano, originada por los diferentes cultivos de difusión en la región en estudio. El grano de soja duplica, aproximadamente, la concentración de estos elementos en los granos de trigo y girasol, quienes a su vez duplican la concentración del maíz. Esto explicaría la razón de que el cultivo de soja sea el de mayor trascendencia en la extracción de bases para la casi totalidad de los Partidos de la región (véase Cuadro 4), no siendo el cultivo de mayor producción en la misma para el período considerado (véase Cuadro 1). Por otro lado, siendo el maíz, el cultivo de mayor producción para la mayor parte de los Partidos (véase Figura 1), es el segundo en orden de importancia en esta evaluación de



extracción (véase Cuadro 4), a causa de la baja concentración de bases en su grano (véase Cuadro 1). Además de las cantidades absolutas de estos elementos en los granos, cabe señalar, según Irurtia (2004), que existe una marcada diferencia en el Índice de Cosecha (IC: proporción del contenido de un elemento en el órgano cosechado respecto del total de la planta). El mencionado autor cita valores de IC de 0,19 (soja), 0,07 (maíz), 0,14 (trigo) y 0,08 (girasol). Es decir, las especies analizadas requerirían cantidades distintas de estos elementos por unidad de peso de grano, y a su vez, esto representaría diferentes cantidades del total absorbido. Desde ambos puntos de vista, el cultivo de soja gravitaría más en el balance de bases.

De la misma manera es de destacar la diferente extracción por unidad de superficie producida en los Partidos considerados (véase Cuadro 4). Salto, Pergamino, Colón y Gral Arenales son los Partidos más afectados en su fertilidad (promedio extracción de bases: $0,76 \text{ Mg ha}^{-1}$), mientras que otros como Roque Pérez o Carmen de Areco (promedio extracción de bases: $0,18 \text{ Mg ha}^{-1}$), lo son mucho menos. Si bien la superficie total de los Partidos es causal de alguna de

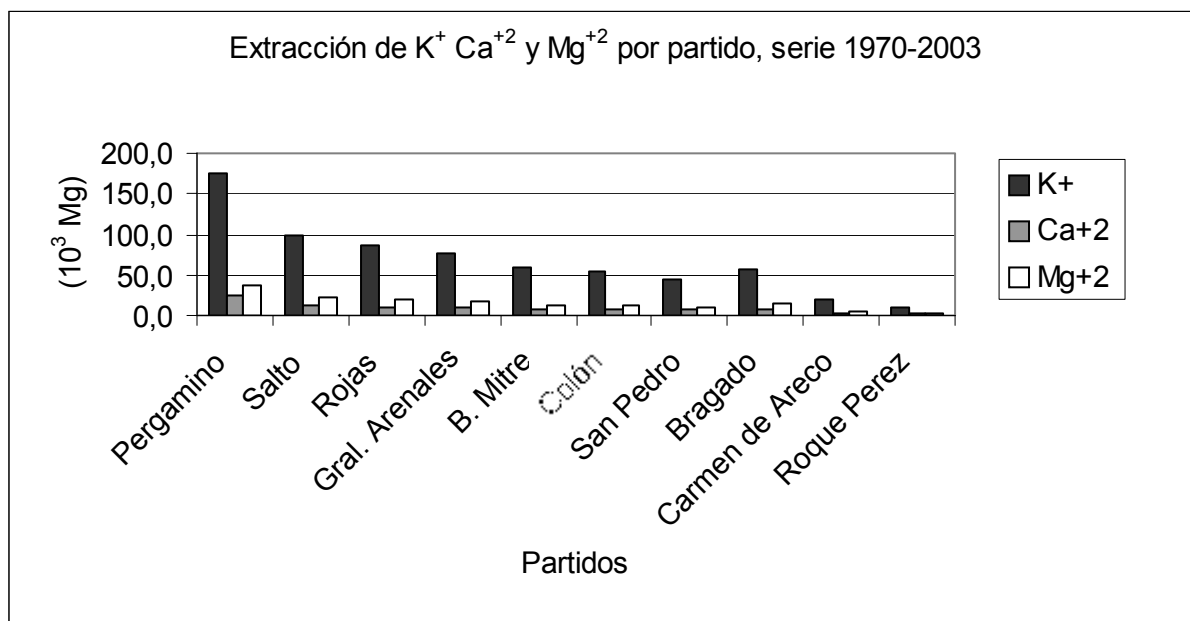
estas diferencias en función del cálculo realizado, las mismas son, fundamentalmente, la consecuencia de sus niveles de producción agrícola, como puede verse en la Figura 1.

La extracción regional de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} para el período considerado, fue estimada en 682.692; 88.443 y 155.479 Mg, respectivamente. La misma, discriminada para cada Partido, se gráfica en la Figura 2. Puede apreciarse que la afirmación hecha para el conjunto de las bases en relación a los Partidos de mayor y de menor extracción, puede repetirse para cada uno de los elementos en particular.

Reposición de bases

El costo de la reposición global de las bases para el área estudiada en el período 1970-2003, es u\$s 414.000.000; 127.300.000; 86.200.000 y 16.000.000 para los suelos cultivados con soja, maíz, trigo y girasol, representando dicho costo un 6,6%; 3,4%; 4,0% y 2,9% de la producción de estos cultivos (véase Cuadro 1), a precios FOB (véase Cuadro 3).

Figura 2. Extracción de bases, discriminada por elemento y partido para el período 1970- 2003



Fuente: Elaboración propia



Estas son estimaciones de la necesidad de reposición según la cantidad absoluta de los elementos exportados, no contemplando la afectación de su disponibilidad edáfica, lo que podría constituir una subestimación en estos cálculos. Cuando se agrega KCl a suelos ricos en illita, es posible que parte del K^+ agregado se introduzca entre las láminas de la arcilla, sitio que por sus características de tamaño y carga, retiene el elemento, dificultando su puesta en solución, de donde lo toman los vegetales. De la misma manera, el agregado de Ca^{2+} y Mg^{2+} a través de dolomita u otros productos naturales, no necesariamente implica aumentos equivalentes a las cantidades agregadas en la solución del suelo. En primer lugar, porque se trata de productos con solubilidad relativamente baja, y en segundo lugar, porque a pesar de solubilizarse puede, en el ambiente edáfico, volver a precipitar con carbonatos o sulfatos que pudieran estar presentes en los suelos.

Existen evidencias actuales para la región, en un marco de agricultura moderna de altos potenciales de rendimiento, que en determinadas situaciones edáficas, por aumento en el nivel de producción de especies como alfalfa y soja, de acuerdo a las experiencias de Vázquez et al. (2002) y Vázquez (2005), se produce un deterioro del nivel absoluto y balance de nutrientes básicos, lo que trae aparejado la imposibilidad de continuar con dichos cultivos. En ese contexto, la decisión de fertilización se ha basado frecuentemente en la respuesta de los cultivos a la aplicación de los nutrientes, es decir un análisis de costo/beneficio de corto plazo, y redistribución de la asignación del dinero dentro de las actividades productivas de la empresa agropecuaria. En general se prefiere asignar dinero a actividades con retorno económico inmediato, en lugar de otras destinadas a mantener las características del recurso natural suelo, cuando todavía, eventualmente, pudiera no haber respuesta económica al agregado de estos nutrientes. Aún considerando esos casos sin respuesta, un análisis desde el punto de vista económico, proyectado en el largo plazo, que

contemple la reposición de los nutrientes extraídos, significaría evitar la reducción de los ingresos futuros por deterioro del capital suelo en esos términos de tiempo, lo que en definitiva constituye el concepto de sustentabilidad, analizado desde la óptica socioeconómica. La reducción de rendimientos y hasta la imposibilidad de realizar determinadas actividades agropecuarias tradicionales para la región, base de una de las principales fuentes de ingreso para la comunidad, podría redundar en consecuencias sociales, como el aumento de la superficie mínima económicamente sustentable y hasta la migración.

La reposición de los nutrientes básicos, se hace en general, a través de productos de yacimientos naturales. En situaciones de deficiencia creciente, puede superponerse a la situación limitante, la problemática de encarecimiento del insumo por aumento de la demanda del mismo a nivel regional, ya que estos fenómenos son generalizados, o a la disminución de su oferta por escasez del recurso natural para su fabricación. Todos estos productos son extraídos de yacimientos naturales finitos y en algunos casos distantes de los establecimientos demandantes, con la correspondiente repercusión en el costo del flete. Ambas cuestiones, la finitud de los yacimientos naturales y la limitación de la producción agrícola y pecuaria, regularán el juego de la oferta y la demanda en la fijación de precios de estos insumos a nivel regional.

En el Cuadro 5 se evaluó la incidencia en el margen bruto de la reposición de las bases para los cultivos en análisis, planteando rendimientos medios regionales y de acuerdo a precios de granos a 2005 y costos de los insumos al 05/2004 (Márgenes Agropecuarios 05/04). Como puede verse la reducción del margen bruto oscila entre 4,9 % para girasol y 11,9 % en el caso de la soja, debido fundamentalmente a los niveles de demanda de bases de estos cultivos. Cabe preguntarse si corresponde hacer esta imputación a los costos totales, cuando en realidad se trata de la conservación del capital "recurso natural suelo no renovable". Al margen del planteo filosófico de la cuestión, debe apreciarse que el costo de planteos repositivos de estos



Cuadro 5. Cálculo de Márgenes Brutos sin y con reposición de bases (u\$s)

	Soja	Maíz	Trigo	Girasol
Rendimientos	3.400 kg ha ⁻¹	7.500 kg ha ⁻¹	4.500 kg ha ⁻¹	2.500 kg ha ⁻¹
Precio 2005 (u\$s Mg ⁻¹)	188,0	92,3	115,0	170,0
Ingreso Bruto	639,2	692,3	517,5	425,0
Gastos de Comercialización	83,2	153,8	81,4	57,7
Ingreso Neto (Ingreso bruto – gastos comercialización)	556,0	538,5	436,1	409,8
Costos				
Labranzas de siembra	73,3	55,1	59,6	32,9
Semilla.+Inoculante+Fungicida	33,6	67,6	21,1	28,0
Agroquímicos.+fertilizantes N-P	47,7	92,0	85,8	81,5
Agroquímicos. + fertilizantes N-P + Correctores de Bases	90,6	110,6	101,3	93,1
Cosecha	41,5	48,5	36,2	29,8
Costos Totales s/ reposición bases	196,2	263,0	202,8	171,4
Costos Totales c/ reposición bases	239,1	281,6	218,3	183,0
Margen Bruto s/ reposición bases	359,9	275,4	233,4	238,4
Margen Bruto c/ reposición bases	316,9	256,9	217,8	226,8
% de reducción Margen Bruto	11,9	6,8	6,7	4,9

Fuente: Elaboración propia

elementos para muchos cultivos es comparable al empleo de otros insumos, tales como inoculación, agroquímicos o fertilizantes N-P, cuyo empleo no está en el plano de discusión del productor. Para trigo, maíz y girasol la reposición de bases representa menos del 20% de los gastos de agroquímicos y fertilización nitrogenada/fosforada, mientras que para soja estos gastos prácticamente se duplican, cuando se pretende reponer las bases, a causa de las razones ya expuestas.

Implicancias socioeconómicas

De acuerdo al censo agropecuario 2002 realizado en Argentina, el número de establecimientos agropecuarios en la Región Pampeana disminuyó un 29% en el período entre los 2 últimos censos (1988-2003), aumentando un 35% la superficie de las explotaciones (SAGPyA (Censo Agropecuario 2002) 2005). Dentro de la Región Pampeana, las cifras son considerablemente más elevadas para la provincia de Buenos Aires, en relación a las restantes provincias de la mencionada región. Adicionalmente, para el mismo período, 8.400.000 hectáreas a nivel nacional y cerca del 16% de la superficie de la Región Pampeana, ha dejado de ser explotada por sus propietarios y se encuentra

actualmente bajo algún sistema de contrato (arrendamiento, aparcería y contrato accidental). Al mismo tiempo, se duplicó la superficie con 2 cosechas anuales, atribuyéndose el fenómeno a la siembra directa y el uso de barbechos químicos, empleando glifosato para controlar malezas. De la misma manera, para la mencionada región, la superficie cultivada con cereales y oleaginosas pasó de 13.600.000 a 20.300.000 ha, de las cuales cerca de 2.000.000 ha corresponden a la provincia de Buenos Aires y a su vez, el 80% (1.600.000 ha), corresponden a soja de primera o segunda ocupación. La suma de los indicadores descritos (difusión del doble cultivo, del cultivo de soja y la explotación en manos de terceros), señala claramente el proceso de agriculturización nacional a que se ha aludido en párrafos precedentes, en particular de la Región Pampeana. Este fenómeno se enmarca en un país en el que el producto bruto agroindustrial (PBAi) se constituye en un 50% sobre la agricultura en forma ascendente a medida que transcurre el tiempo, y simultáneamente, en forma creciente sobre el producto bruto interno nacional (SAGPyA (Censo Agropecuario 2002) 2005). Las exportaciones del sector constituyeron, a título de ejemplo, cerca de



u\$s 16.000.000.000 en el tercer trimestre de 2005, de los cuales el 42% se debió a la soja.

Todo este contexto socioeconómico, permite diagnosticar un cuadro de situación poco favorable para atender a la problemática de la pérdida de nutrientes en general, entre ellos los elementos básicos. Sistemas de producción de características más exportadoras tanto a nivel predial como regional, así como responsables menos proclives al compromiso con la conservación del recurso natural suelo, permiten prever una evolución creciente de esta desprovisión. A su vez, las cifras vertidas, señalarían que repercusiones en los niveles de producción agropecuaria, particularmente de la soja, podrían afectar considerablemente la economía regional y nacional.

Esta problemática indica con claridad, que el estado debe implementar estrategias de gestión que conduzcan a la concientización individual y colectiva, arbitrando reglamentaciones de fomento al empleo de productos correctores, tales como desgravaciones impositivas, y al control de las condiciones contractuales del régimen de explotación de la tierra por terceros, estableciendo obligaciones de reposición de los nutrientes exportados.

4. Conclusiones

1. La producción de soja ha sido la principal responsable de la extracción edáfica de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en la región norte de la Provincia de Buenos Aires (Argentina) (1.684.753 ha) para el período 1970-2003 (609.036 Mg).
2. Existe una destacable diferencia de extracción de bases por unidad de superficie entre los diferentes partidos en que se subdivide la región. Los partidos de Salto, Pergamino, Colón y Gral Arenales son los más afectados en su fertilidad (promedio 0,76 Mg ha⁻¹), mientras que otros como Roque Pérez o Carmen de Areco (promedio 0,18 Mg ha⁻¹), lo son mucho menos, fundamentalmente, a causa de la

consecuencia de sus niveles de producción agrícola.

3. El costo de la reposición global de bases es de u\$s 414.000.000; 127.300.000; 86.200.000 y 16.000.000 para los suelos cultivados con soja, maíz, trigo y girasol respectivamente, en el período 1970-2003, representando dicho costo un 6,6%; 3,4%; 4,0% y 2,9% de la producción de estos cultivos a precios ponderados en el período 2001-2005.
4. El margen bruto considerando la reposición de las bases se reduce en un 11,9%; 6,7%; 6,8% y 4,9% para soja, trigo, maíz y girasol respectivamente.
5. El análisis económico regional señala condiciones actuales de agravamiento de los factores predisponentes a la problemática edáfica, la potencialidad de perjuicios económicos para la región y el país, y marca la necesidad de estrategias de gestión que favorezcan la reposición de estos elementos.

REFERENCIAS

- Bindraban, P. S., Stoorvogel, J. J., Cansen, D.M., Vlaming J. & J. J. R. Groot., 2000. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agriculture, Ecosystem & Environment* Vol. 81: 103-112.
- Blake, L., Goulding, K. W. T., Mott, C. J. B. & A. E. Johnston., 1999. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under woodlandygrass at Rothamsted Experimental Station, U. K. *European Journal of Soil Science* Vol. 50:401-412.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. En Línea 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/x7352s/X7352s03.htm> Consultado 15-06-2007
- Fox, R. H. & W. P. Piekielek., 1984. Soil magnesium level, corn (*Zea mays* L.) yield and magnesium uptake. *Soil Science and Plant Analysis* Vol. 15: 109-123.
- Gelati, P. y M. Vázquez., 2004. Extracción agrícola de nutrientes básicos en la zona N de la Provincia de Buenos Aires y el costo de su remediación. Acta Segundas Jornadas de la Asoc. Argentino Uruguay de



- Economía Ecológica (ASAUEE), 12-13/11, Lujan, Argentina. p. 28-29.
- Harte, M. J., 1995. Ecology, sustainability, and environment as capital. *Ecological Economics* Vol. 15:157-164.
- Irurtia, C., 2004. Aspectos relacionados a la dinámica del calcio en suelos agrícolas de la Región Pampeana. *Actas Primera Jornada Nacional El Calcio y el Magnesio en la Producción Agropecuaria*, 20 de mayo de 2004, La Plata. Versión electrónica.
- Janssen, B. H., 1999. Basic of Budgets, buffers and balances of nutrients in relation to sustainability of agroecosystems, in: Smaling E. M. A.; O. Oenema & L. O. Fresco (eds). *Nutrient disequilibria in Agroecosystems. Concepts and Case Studies*. Cap. 2:27-55. Cambridge, Inglaterra: Ed. CABI.
- Koning, G. H. J., van de Kop, P. J. & L. O. Fresco., 1997. Estimates of sub-national nutrient balances as sustainability indicators for agro-ecosystems in Ecuador. *Agriculture, Ecosystems & Environment* Vol. 65: 127-139.
- Lee, K., 1993. Greed scale mismatch and learning. *Ecological Applications* Vol. 3:560-564. USA.
- Lemenih, M., Karltonb, E. & M. Olssonb., 2004. Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in small holders farming system in Etiopía. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, en prensa.
- Lierop, W. van, Martel, Y. A. & J. Cescas., 1979. Onion response to lime on acid Histisols as affected by Ca/Mg ratios. *Soil Science Society of America Proceedings* Vol. 43:1172-1177.
- Márgenes Agropecuarios., 2004. N°2. Buenos Aires, Argentina: Ed. Márgenes Agropecuarios S. R. L.
- Mengel, K. & E. A. Kirkby., 2000. Principios de Nutrición Vegetal. Cap.11:401-423, Cap 12:425-434. Instituto Internacional de la Potasa, Basilea:
- Moseley, G. & D.H. Baker., 1991. The efficacy of a high magnesium grass cultivar in controlling hypomagnesaemia in grazing animals. *Grass and Forage Science* Vol. 46:375-380.
- Oliveira, E. L., y M. S. Parra., 2003. Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre cálcio e magnesio na capacidade de troca de cátions de latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* Vol. 27, No. 5:859-866.
- SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina), 2005. Estadísticas en línea. Disponible en: www.sagpya.gov.ar
- SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina), 2005. Censo Agropecuario 2002. Disponible en: www.sagpya.gov.ar
- SAGyP (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina)-INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Proyecto PNUD Arg. 85/019.
- SAGyP (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina)-INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), 1990. Atlas de la República Argentina. Proyecto PNUD Arg. 85/019.
- Sarandón, S. J., 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas, en: *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*. Cap. 20:393-414. La Plata, Argentina: Ediciones Científicas Americanas.
- Smaling, E. M. A. & L. O. Fresco., 1993. A decision-support model for monitoring nutrient balances under agricultural land use (NUTMON). *Geoderma* Vol. 60:235-256.
- Smith, C. & R. Thwaites., 1998. TIM: Evaluating the sustainability of agricultural land management at the planning stage. *National Soil Conference. Environmental Benefits of Soil Management. Conference Proceedings*. Brisbane: 327-334. Australia.
- Spedding, C. R. W., 1995. Sustainability in animal production systems. *Animal Science* Vol. 61:1-8.
- Stoorvogel, J. J., 1993. Optimising land use distribution to minimize nutrient depletion: a case study for the Atlantic Zone of Costa Rica. *Geoderma* Vol. 60: 277-292.
- Stoorvogel, J. J.; Smaling, E. M. A. y B. H. Jansen., 1993. Calculating soil nutrient and balance at different scales. I. Supra national scale. *Fertilizer research* Vol. 36:227-235. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers.
- Stoorvogel, J. J., 2000. Land Quality Indicators for Sustainable Land Management. Disponible en: www.ciesin.org/lw-kmn/mbguidl2.html
- Teruggi, M. E. 1957. The nature and origin of argentine loess. *Journal of Sedimentary Petrology* Vol. 27, No. 3:322-333.
- Torquebiau, E., 1992. ¿Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agriculture, Ecosystems and Environment* Vol. 41:189-207.
- Thompson, L. M. & F. R. Troeh., 1980. Los suelos y su fertilidad. Cap. 12:361-388. Cap. 13:389-405. 4° Barcelona, España: Ed. Reverté S.A.
- Vázquez, M. E., Baridon, E., Lanfranco, J. y G. Malagrina., 2000. Evaluación de la potencialidad de la problemática de acidez en la región norte de la provincia de Buenos Aires. *Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 11-14 abril, Mar del Plata, Argentina.
- Vázquez, M., Piro, A., Millán, G. y J. Lanfranco., 2002. Pautas para el diagnóstico de la problemática asociada a suelos ácidos de zonas templadas subhúmedas. *Revista de la Asociación Argentina de la Producción Animal* Vol. 23, No. 2:69-80.



Vázquez, M., 2005. Calcio y Magnesio. Acidez y alcalinidad del suelo, en: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Echeverría H. y García F. (eds). Cap. 8:161-185. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Ventimiglia, L. A.; Carta, H. G. y S. N. Rillo., 2000. Extracción de nutrientes en campos agrícolas. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 7:11-12. Instituto de la Potasa y el Fósforo, Buenos Aires, Argentina: