

MACRONUTRIENTES PRIMARIOS EXPORTADOS POR LOS AGROECOSISTEMAS EXTENSIVOS DE SAN LUIS

Ings. Agrs. Veneciano, J. H. y Frigerio, K. L. 2002. Información Técnica N° 160, EEA San Luis INTA, Villa Mercedes.
www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Suelos ganaderos](#)

RESUMEN

El desarrollo de la agricultura como práctica no reconstitutiva conduce a un desequilibrio en el balance nutricional edáfico, cuya consecuencia es la degradación química y física de los suelos, proceso al cual la provincia de San Luis, pese a su carácter agrícola marginal, no escapa. El objetivo del presente trabajo fue determinar para los principales agroecosistemas extensivos de San Luis: a) la cantidad de macronutrientes primarios (N, P, K) removidos anualmente con el producto (grano, carne), y b) su costo de reposición. Para ello se recabó la información sobre producción de granos de los últimos cuarenta años correspondiente a los cultivos extensivos más importantes de la provincia, así como la concierne a soja, de irrupción destacada en los últimos tiempos, determinándose los valores de macronutrientes primarios (N, P y K) removidos con el grano cosechado. De manera análoga se calculó la exportación de dichos nutrientes atribuible a la ganadería bovina. A partir de los valores obtenidos se estimó el costo de reposición de los elementos minerales. La remoción anual promedio de macronutrientes primarios totalizó 7.149 tn de N, 1.216 tn de P y 1.519 tn de K, sin considerar la pérdida correspondiente a erosión, más directamente relacionada con el sistema convencional de labranza. La remoción anual debida a la ganadería bovina, a su vez, alcanzó a 2.744, 750 y 175 tn de N, P y K respectivamente. El costo total anual de reposición se aproxima a doce millones de dólares, el 71,5 % del cual corresponde a los cultivos agrícolas. Se discute la descapitalización del recurso suelo implícita en el modo actual de producción.

Palabras clave: suelos, exportación de nutrientes, restitución, San Luis (Argentina).

INTRODUCCIÓN

El concepto de desarrollo sustentable exige que el desarrollo económico sea compatible con la integridad o "salud" del ambiente, y que se preserve la equidad no sólo dentro de las generaciones actuales sino también entre las actuales y las futuras (principio de equidad intergeneracional) (Viglizzo, 1995). De conformidad con Cursack de Castignani et al. (1997) es un agroecosistema sostenible aquel que conserva el recurso, es ambientalmente sano y económicamente viable, y su consecuencia es el mantenimiento a largo plazo de dicho sistema sin deteriorarse ni resentir su productividad.

Algunos de los criterios contemplados para definir la sostenibilidad de los agroecosistemas son el mantenimiento de las propiedades físicas y biológicas del suelo y su nivel de nutrientes. En abierta contradicción con ello, la última década del siglo XX trajo aparejada para nuestro país una intensificación de los procesos productivos que generó una presión creciente sobre los recursos naturales renovables y no renovables: la pampa húmeda -en cuyos 48 millones de hectáreas se concentra más del 80 % de la actividad agropecuaria nacional- padece hoy los síntomas de degradación más severos de su historia, de los cuales, si bien en distinto grado, son responsables tanto la producción intensiva de granos como la ganadería (Curti, 1999). Nuestra provincia, pese a su carácter agrícola marginal, no escapa a esta realidad. En las regiones semiáridas la degradación del suelo (erosión y pérdida de fertilidad) puede ser rápida y su recuperación extremadamente lenta. Este proceso, carente de síntomas claramente visibles, conduce a una descompensación en el presupuesto mineral del agroecosistema que está dada por una extracción de nutrientes que supera con holgura la capacidad natural que el ecosistema tiene para reponerlos (Viglizzo y Roberto, 1991).

Las plantas requieren para su crecimiento tres factores fundamentales: energía, agua y nutrientes. Mediante el proceso de fotosíntesis la radiación solar es utilizada para formar compuestos energéticos que serán posteriormente empleados para combinar el agua y los nutrientes obtenidos del suelo en elementos complejos destinados al desarrollo vegetal. Tanto la energía como el agua (repuesta al suelo en forma relativamente constante a través de la precipitación pluvial) pueden considerarse recursos poco menos que inagotables. Los nutrientes edáficos, por el contrario, se encuentran en su reservorio en cantidades limitadas (Zanotti y Buschiazzo, 1997).

Los cultivos de cosecha provocan una extracción relevante de nutrientes edáficos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), que son exportados del sistema a través del producto (grano). La magnitud de esta extracción depende del cultivo y rendimiento considerados.

La ganadería pastoril es una actividad de extracción muy inferior a la de la agricultura de cosecha (Pordomingo, 1998), pero “minar” las reservas de nutrientes del suelo no es una práctica sostenible (Roberts, 1996b). Cualquier recurso natural debe ser considerado como un activo o capital natural que dispone de un potencial para generar beneficios, y cuya disminución en el stock implicará una pérdida de parte de esos beneficios para las generaciones futuras (Calfucurá T., 1998). Si bien la extracción de los nutrientes es parcialmente repuesta por procesos que ocurren en el mismo suelo, la dotación original va reduciéndose campaña tras campaña, por lo que la extracción neta es irreversible y deberá tarde o temprano restituirse para no comprometer la potencialidad productiva del recurso suelo. Esta restitución implicará en algún momento un costo en fertilizantes que debería ser restado de los ingresos obtenidos en cada campaña agrícola (Zanotti y Buschiazzo, 1997).

Veneciano (1995) estimó la merma anual de N, P y K sufrida por los suelos agrícolas de San Luis, correspondiente a los cultivos de maíz, sorgo granífero y girasol, y Veneciano y Lartigue (2000) calcularon la pérdida anual de P atribuible a la ganadería bovina; no se halló para la provincia, en cambio, información atinente al costo de restitución mineral. De acuerdo con Tisdell (1993 -cit. por Vígliczo, 1995-) estimaciones de este tipo deberían imputarse como un costo en las cuentas públicas para generar, a partir de ellas, proyectos compensatorios que preserven la sostenibilidad de los agroecosistemas.

El presente trabajo tuvo por objetivos determinar para los principales agroecosistemas extensivos de San Luis:

- la cantidad de macronutrientes primarios (N, P, K) removidos anualmente con el producto (grano, carne), y
- su costo de reposición.

MATERIAL Y MÉTODO

1. EXPORTACIÓN DE MACRONUTRIENTES DE LOS AGROECOSISTEMAS EXTENSIVOS DE SAN LUIS

1.1. AGRICULTURA DE COSECHA

La información sobre producción anual de granos del período 1960-61/2000-01 correspondiente a los cuatro cultivos extensivos históricamente más importantes de la provincia (maíz, girasol, sorgo granífero y trigo) se obtuvo a partir de los valores de rendimiento (kg/ha) y superficie cosechada (ha) registrados en: Bolsa de cereales (1964, 1978, 2001), B. de Cereales de Bs. Aires (1990), INTA San Luis (1986) y Garay y Colombino (2002). La información sobre otros cereales de invierno (avena, cebada, centeno) proviene de FUNIF (1999).

Cuadro 1. Macronutrientes removidos con los cultivos extensivos más importantes de San Luis.

Cultivo	kg / tn de grano cosechado		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Maíz	18,1	3,0	2,9
Girasol	34,7	5,3	6,7
Sorgo granífero	19,0	4,0	4,0
Trigo	20,7	4,8	5,2
Otros cereales de invierno	18,8	3,6	4,7
Soja	61,4*	6,0	16,1

*: 35 % de ese valor es aportado por fijación biológica.
Fte.: Darwich (1994); Ohirogge y Kamprath (1968, cit. por Baigorri et al., 1997); Mengel y Kirkby (2000).

La información concerniente al cultivo de soja en condiciones de secano se obtuvo de Martínez Álvarez y Bongiovanni (2002).

Los valores de remoción de macronutrientes primarios (N, P y K) con el grano cosechado (Cuadro 1) se adoptaron de: Darwich (1994), Ohirogge y Kamprath (1968, cit. por Baigorri et al., 1997) y Mengel y Kirkby (2000), contemplándose para el caso de la soja que el 35 % del N removido por el cultivo es aportado por fijación biológica (González et al., 1997). No se consideró el aporte debido a cultivos fertilizados, por no disponer de la información pertinente.

1.2. GANADERÍA BOVINA

La información sobre producción anual de carne bovina se obtuvo de Veneciano (1998), en tanto que los valores de macronutrientes removidos (g/kg peso vivo) se adoptaron de Wilkinson y Lowrey (1973, citados por Pearson e Ison, 1994): Cuadro 2.

Cuadro 2. Macronutrientes removidos con la carne bovina.

Categoría	g / kg de peso vivo		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Ternero	26,0	6,7	1,7
Novillo	24,0	6,8	1,5

Fte.: Wilkinson y Lowrey (1973, cit. por Pearson e Ison, 1994).

II. COSTO DE REPOSICIÓN DE MACRONUTRIENTES

La incidencia económica de la remoción de macronutrientes debida a los principales agroecosistemas extensivos de la provincia se calculó a partir del costo actual de los fertilizantes necesarios para cubrir ese déficit (CREA, 2002; Marca Líquida Agropecuaria, 2002). Los productos considerados fueron:

N: urea perlada (46 % N), a razón de U\$S 315/tn,

P: superfosfato triple (46 % P₂O₅, factor de corrección a P= 2,29), a razón de U\$S 363/tn, y

K: cloruro de potasio (60 % K₂O, factor de corrección a K= 1,2), a razón de U\$S 464/tn.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. EXPORTACIÓN DE MACRONUTRIENTES DE LOS AGROECOSISTEMAS EXTENSIVOS DE SAN LUIS

Si se excluyen los nutrientes no minerales (carbono -C-, hidrógeno -H- y oxígeno -O-) captados por el vegetal a partir del aire y del agua, se reconocen como nutrientes esenciales para la planta al menos trece elementos minerales, que suelen agruparse como macronutrientes (primarios -N, P, K- y secundarios -azufre: S, calcio: Ca, magnesio: Mg-) y micronutrientes: boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Darwich, 1989), a los que Pearson e Ison (1994) agregan cobalto (Co), selenio (Se) y sodio (Na), y para el caso de los animales yodo (I). De todos ellos, con excepción del N, que puede ser incorporado eficientemente desde la atmósfera por fijación biológica, los restantes elementos son provistos por las reservas del suelo. Estos elementos inorgánicos son reabastecidos dentro del sistema por la aplicación de fertilizantes, la liberación de minerales a partir de la degradación de materia orgánica, el efecto del clima sobre la roca madre y el suministro de nutrientes contenidos en las precipitaciones (deposición atmosférica).

Se pierden para el sistema al remover los productos animales (carne, leche, lana, etc.) y vegetales (grano, heno, etc.), por lixiviación debajo de la zona radicular, por volatilización a la atmósfera, y por erosión.

El balance mineral entre entradas y salidas es estable en el largo plazo siempre que exista restitución (Pearson e Ison, 1994). De manera que, conceptualmente, un agroecosistema sostenible en el tiempo habrá de ser aquel que "exporte" anualmente energía y agua (en forma de grano o carne) y restituya los restantes nutrientes al suelo, adicionándolos en forma proporcionada al nivel de extracción del mineral, de manera de optimizar la eficiencia de uso de cultivo y suelo en forma compatible con la protección ambiental.

1.1. AGRICULTURA DE COSECHA

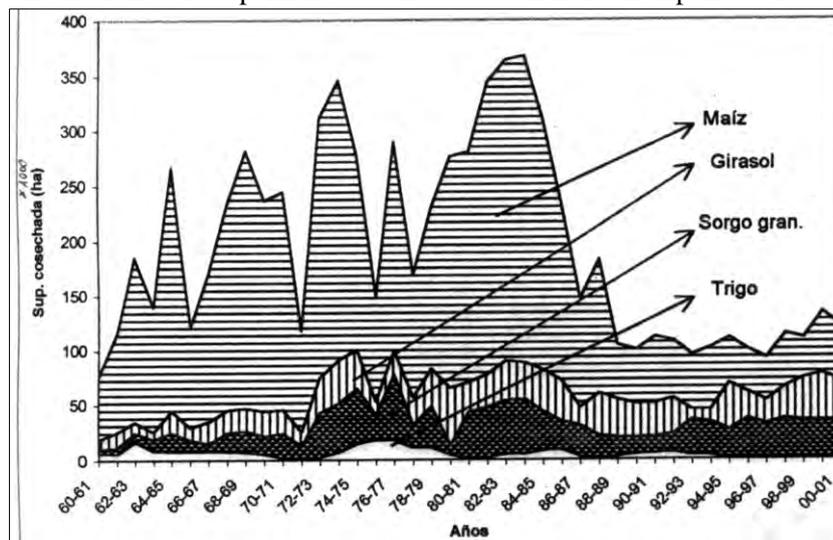
El desarrollo de la agricultura ha conducido a un desequilibrio en el balance nutricional edáfico (Mengel y Kirkby, 2000). La degradación química y física de los suelos constituye el proceso de deterioro más común y difundido en la región pampeana, y es consecuencia de una agricultura rutinaria y no reconstitutiva cuyas evidencias indeseables (encomstramiento, compactación, "manchoneo" de cultivos, etc.) se manifiestan incluso en territorio sanluiseño (Puricelli, 1985), actual frontera agrícola en condiciones de secano. En sectores semiáridos (O de Guatraché, La Pampa), tras sólo cuatro años de cultivo de trigo en un suelo Haplustol éntico, se verificaron reducciones cercanas a 35, 25 y 42 % de los parámetros C total, N total y estabilidad estructural, respectivamente (Puricelli, 1985). Hall et al. (1992 -cit. por Díaz-Zorita, 1998-) destacan la mayor frecuencia de aparición de suelos deficientes en N y P en la región pampeana, en tanto que Montoya et al. (1999) informan de una situación análoga respecto de P en el E de La Pampa. Zanotti y Buschiazzo (1997) han historiado las pérdidas de N y P del área agrícola de La Pampa desde 1911 a 1994. A nivel país en el quinquenio 1990-94 la producción de cereales sustrajo 340 % más N, 250 % más P₂O₅ y 820 % más K₂O que el aportado con la fertilización (Roberts, 1996b), y Ratto y Conti (1996-) precisan que, además de los elementos limitantes por excelencia (N y P), existen en el país indicios de que otras carencias (S, K, Zn y B) comienzan a detectarse.

En la provincia de San Luis la información disponible permite estimar, para el período 1960-61/2000-01, la exportación anual promedio de macronutrientes por unidad de superficie correspondiente a los cuatro cultivos históricamente más importantes: Cuadro 3. Allí se han contrastado los valores medios de la serie con los del trienio 1998-99/2000-01, apreciándose que la mejora en los rendimientos de los últimos años ha incrementado la capacidad extractiva por unidad de superficie en 23 (trigo), 55 (sorgo granífero), 63 (girasol) y 105 (maíz) %, respectivamente.

Cuadro 3. Macronutrientes exportados por los principales cultivos agrícolas extensivos de San Luis. Valores promedios por unidad de superficie.

	Maíz	Sorgo granífero	Girasol	Trigo pan
Rend. de grano: kg/ha				
1960-1 / 2000-1	1.609	2.005	898	1.047
1998-9 / 2000-1	3.303	3.100	1.467	1.286
N exportado: kg/ha.año				
1960-1 / 2000-1	29,1	38,1	31,2	21,7
1998-9 / 2000-1	59,8	58,9	50,9	26,6
P exportado: kg/ha.año				
1960-1 / 2000-1	4,8	8,0	4,8	5,0
1998-9 / 2000-1	9,9	12,4	7,8	6,2
K exportado: kg/ha.año				
1960-1 / 2000-1	4,7	8,0	6,0	5,4
1998-9 / 2000-1	9,6	12,4	9,8	6,7

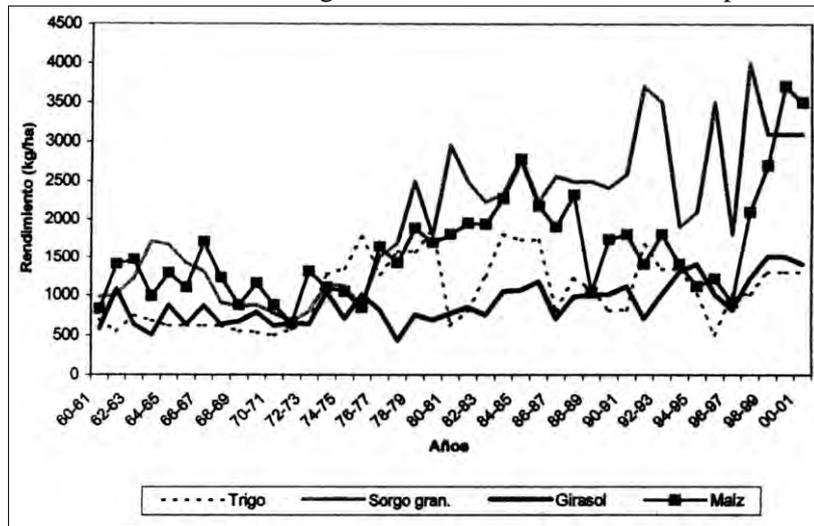
Figura 1. Evolución de la superficie cosechada de San Luis en el período 1960-1/2000-1



La Figura 1 permite apreciar la evolución del área cosechada en la provincia con trigo, maíz, sorgo granífero y girasol correspondiente a las últimas cuatro décadas, pudiendo constatar una alta variabilidad entre años: considérese que la superficie cosechada oscila de manera más pronunciada que la superficie sembrada, por el efecto que sobre ella tienen las adversidades y, muy particularmente, las de índole climático. Puede advertirse no obstante una tendencia creciente hasta mediados de la década del 80, que se revierte posteriormente. La reducción en el área cosechada afectó principalmente a maíz y trigo, incorporándose en cambio otros cultivos (el principal, soja). Debe acotarse aquí que la información disponible de los últimos años (que no se caracteriza por su riqueza) se contradice con la percepción generalizada de que el área agrícola de San Luis ha continuado incrementándose hasta el presente. Esta percepción condice mejor con lo comunicado por Viglizzo y Roberto (1991), quienes al analizar evolutivamente la calidad ambiental de la pampa semiárida (que incluye al E de San Luis) han señalado el inicio desde mediados de la década del 60 de un segundo ciclo de avance de los cultivos de cosecha (el primero correspondió al tercio inicial del siglo XX), que está lejos de haberse detenido. De acuerdo con los mismos autores, explican esta segunda onda agrícola, entre otras, las siguientes causas: rentabilidad relativa de la producción de granos por encima de la correspondiente a la actividad ganadera; acceso a germoplasma de alto rendimiento y condiciones climáticas favorables (en particular, incremento en el nivel de precipitaciones); advenimiento del contratista rural como figura empresaria; desarrollo de maquinaria agrícola más eficiente y aparición de plaguicidas de alta eficacia.

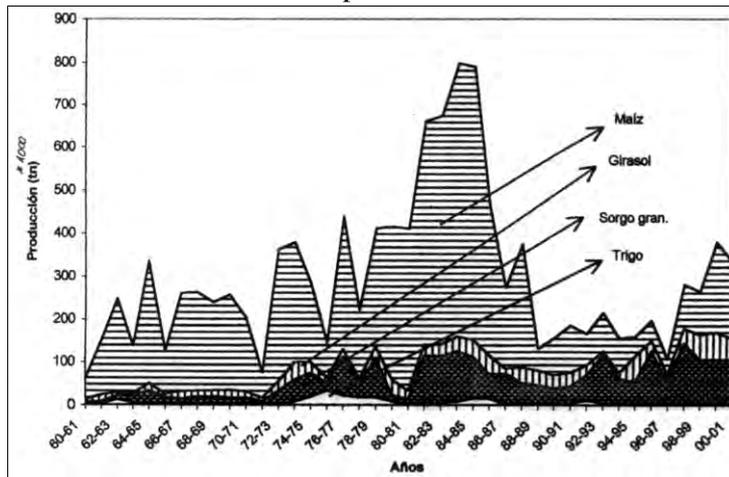
La Figura 2 señala para el mismo período la tendencia levemente incremental en los rendimientos de los cultivos en cuestión, que es consecuencia natural del perfeccionamiento tecnológico en los ámbitos de la genética, los agroquímicos y las prácticas de cultivo (Viglizzo y Roberto, 1991). Caracteriza a estos valores, sin embargo, una alta variabilidad.

Figura 2. Evolución de los rendimientos agrícolas medios de San Luis en el periodo 1960-1/2000-1.



La Figura 3, por su parte, describe para el período analizado la producción de granos de San Luis discriminada por cultivo. La misma prefigura la magnitud del proceso extractivo de minerales, que se intentará precisar a continuación.

Figura 3. Evolución de la producción de grano de los principales cultivos extensivos de San Luis en el período 1960-1/2000-1.



Las Figuras 4, 5 y 6 grafican la evolución en el tiempo de la extracción con el grano de los macronutrientes primarios ^ P y K).

Figura 4. Evolución del N extraído con los principales cultivos extensivos de San Luis en el período 1960-1/2000-1.

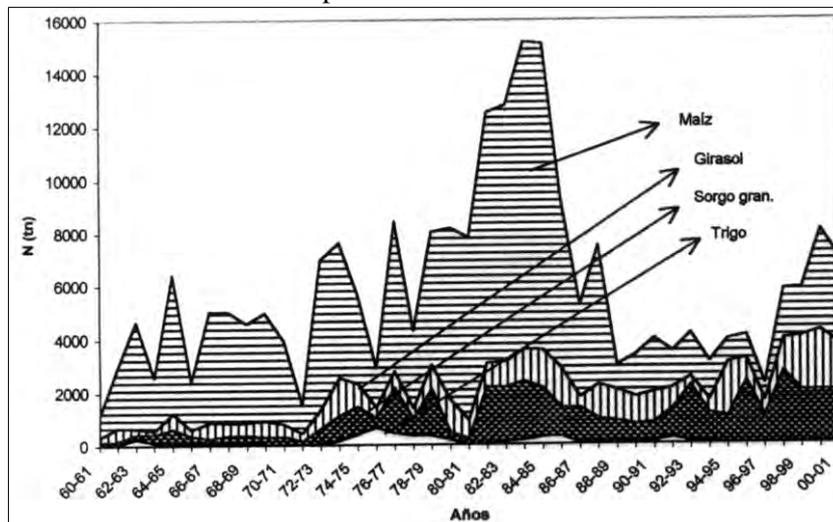


Figura 5.- Evolución del P extraído con los principales cultivos extensivos de San Luis en el período 1960-1/2000-1.

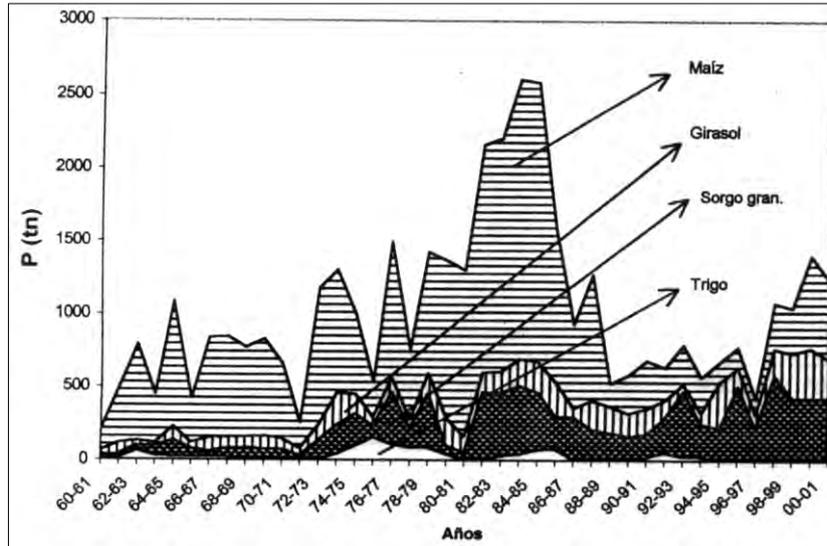
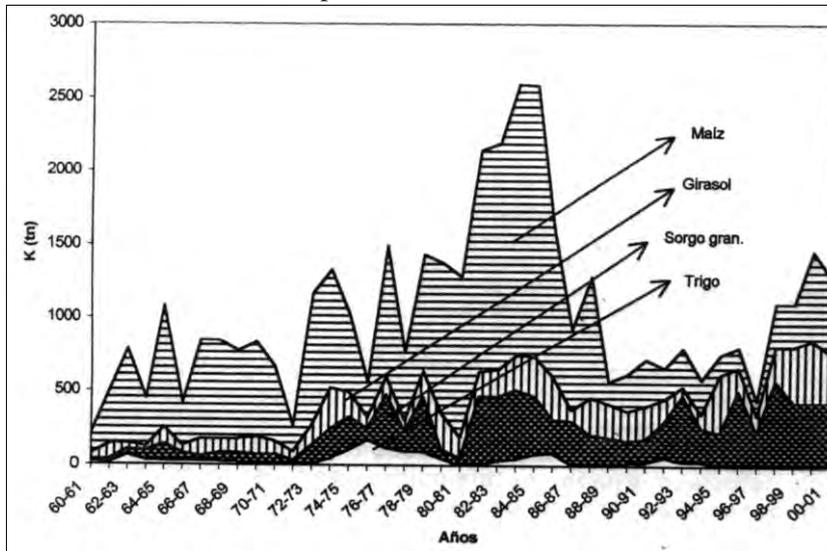


Figura 6.- Evolución del K extraído con los principales cultivos extensivos de San Luis en el período 1960-1/2000-1.



Los valores medios de exportación anual de macronutrientes primarios para el área agrícola de San Luis se han reseñado en el Cuadro 4, incorporándose allí otros cereales de invierno (centeno, avena, cebada) y soja, cultivo relativamente reciente para la provincia pero de importancia creciente. Para este último caso se consideró como extracción de N del suelo sólo el 65 % del nutriente removido con el grano; se asumió que el 35 % restante es aportado por fijación biológica (González et al., 1997). La remoción anual de macronutrientes primarios alcanza a 7.149 tn de N, 1.216 tn de P y 1.519 tn de K, cifras que dan clara idea de la magnitud del proceso de descapitalización sufrido por los agroecosistemas de la provincia. El maíz es el primer exportador de nutrientes, y es también destacable la remoción de nutrientes debida a soja, cultivo en activa expansión y con gran capacidad de particionar N a los granos; el retorno de este elemento al suelo vía residuos es exiguo, lo que evidencia que la soja no es restauradora de fertilidad (González et al., 1997).

Cuadro 4. Macronutrientes exportados anualmente por los agroecosistemas extensivos de cosecha de San Luis. Valores promedios.

Cultivo	Superficie cosechada ha	Rendimiento de grano kg / ha	Nutrientes exportados: tn/año		
			N	P	K
Maíz *	133.484 ± 78.891	1.609 ± 690	3.887,4	644,3	622,8
Sorgo granífero *	26.335 ± 14.325	2.005 ± 925	1.003,2	211,2	211,2
Girasol *	26.203 ± 11.226	898 ± 271	816,5	124,7	157,7
Trigo pan *	6.102 ± 4.774	1.047 ± 430	132,3	30,7	33,2
Otros cereales inv. **	13.000	881	215,3	41,2	53,8
Soja ***	17.000	1.609	1.094,1	164,1	440,4
Totales	222.124		7.148,8	1.216,2	1.519,1

*: Valores promedio 1960-1/2000-1. **: 1996-7. ***: 2001-2.

La agudización de la nueva fase de degradación señalada para el país por Viglizzo y Roberto (1991) carece de la espectacularidad que caracterizó a la ocurrida en los años 30, por la ausencia de síntomas visibles (voladuras). Respecto del N, los desequilibrios en el balance mineral se acentúan cuando no existe la posibilidad de rotar los cultivos de cosecha con praderas de leguminosas, situación significativamente habitual en los establecimientos de San Luis: Veneciano, (1995) estimó que para la superficie bajo cultivo de la provincia apenas 1,0 de cada 15,9 ha cultivadas con recursos anuales extractivos estaría en teoría integrada a un planteo de rotaciones que contemple como eslabón constructivo a una especie leguminosa.

Zanotti y Buschiazzi (1997) estimaron para la provincia de La Pampa que el consumo atribuible a los cultivos representaba apenas 35 (N) y 41 (P) % de las pérdidas totales de dichos nutrientes minerales, correspondiendo el resto a otros fenómenos, principalmente a la erosión sufrida durante algo más de ocho décadas. El grado de erosión depende de numerosos factores, entre ellos: relieve, intensidad de las precipitaciones, intensidad y persistencia del viento, y muy particularmente del sistema de labranza y la cobertura del suelo (Mengel y Kirkby, 2000). Cada centímetro de suelo que se pierde por erosión representa alrededor de 125 tn/ha, con los nutrientes en él contenidos (Baethgen, 1996). La labranza convencional supone la utilización de herramientas que producen cierta inversión del perfil edáfico, en tanto que por labranza conservacionista se incluye cualquier sistema que, sin invertir el suelo y reteniendo en superficie residuos orgánicos, reduce la pérdida de suelo y/o agua: las tasas de degradación física, química y biológica son mayores con los sistemas convencionales de labranza (Cursack de Castignani y Travadelo de Belvilacqua, 1997). Los procesos erosivos adquieren mayor magnitud entonces cuanto más marginal es el área de cultivo y menos apropiado el método de labranza. Paradójicamente, la utilización de tecnología conservacionista tal como la *siembra directa decrece a medida que aumenta la condición de marginalidad* del área cultivada: a menor aptitud productiva de la tierra se corresponden menores rendimientos e ingresos en el corto plazo y por lo tanto también menor disposición a invertir. Téngase presente que en la provincia se cultivan no más de 7 - 8.000 ha de maíz y 4.000 ha de girasol con la técnica de siembra directa (Garay, com. pers.), esto es, incluyendo cierta restauración de nutrientes; en el caso de soja, en cambio, el uso de agroquímicos se limita esencialmente al control de malezas, plagas y enfermedades. Por otro lado, el área total sujeta a procesos erosivos guarda mejor relación con la superficie sembrada, que es siempre mayor que la considerada en este trabajo (superficie cosechada).

Ateniéndonos a los cálculos efectuados por Zanotti y Buschiazzi (1997) podemos asumir en consecuencia que la pérdida total de nutrientes atribuible a la agricultura de cosecha (exportación con el grano + erosión derivada de varias décadas de labranza convencional) podría alcanzar magnitudes significativas, cifras que -tal como se señalara anteriormente- deberían considerarse en la contabilidad del estado provincial.

1.2. GANADERÍA BOVINA

Cuadro 5. Macronutrientes primarios exportados anualmente por los agroecosistemas extensivos de ganadería bovina de San Luis.

	Zona oriental	Zona occidental	Totales / promedios
Superficie, ha	2.449.613	4.674.000	7.123.613
N, g / ha.año	755,4	191,2	385,2
P, g / ha.año	207,0	52,0	105,3
K, g / ha.año	48,0	12,2	24,5
N, tn / año	1.850,4	893,7	2.744,1
P, tn / año	507,1	243,1	750,1
K, tn / año	117,6	57,0	174,6

En el Cuadro 5 se ha reseñado la exportación anual de macronutrientes primarios atribuible a la ganadería vacuna extensiva, para toda la provincia y discriminándose, a su vez, en dos grandes áreas: la franja oriental, que sostiene al 61 % de las existencias bovinas en el 34,4 % del territorio ganadero sanluiseño, en la que se practica

una actividad diversificada (cría-recría-engorde), y el sector occidental, casi exclusivamente orientado a la cría bovina (Veneciano, 1998). Los valores de exportación mineral que corresponden a la ganadería extensiva son considerablemente bajos, en congruencia con los niveles de productividad (kg de carne/ha.año) del sistema. Sin embargo es preciso hacer algunas puntualizaciones:

- 1- Si bien en la última década los cultivos de cosecha, contrariando la aptitud ambiental de la región, se han extendido al O de la provincia, debe destacarse que el sector ganadero oriental centraliza también la casi totalidad de los cultivos agrícolas de San Luis, lo cual potencia la remoción de nutrientes de estos suelos. Ello se agudiza cuando además se utilizan los rastrojos con animales.
- 2- La diversificación productiva de la franja oriental (agricultura de cosecha- ganadería de cría, recría y engorde) coincide con una igualmente diversificada base pastoril en la que los cultivos forrajeros estacionales ("verdeos" de invierno y verano), mayoritariamente representados por centeno, maíz para pasto y sorgos forrajeros, superan las 230.000 ha (Veneciano, Terenti y Funes, 2002). Para esta superficie implantada cada año con verdeos (en casi todos los casos por medio de labranza convencional) valen en consecuencia las consideraciones efectuadas en el apartado anterior respecto de las pérdidas minerales debidas a procesos erosivos.
- 3- Respecto del N, más del 78 % del nutriente consumido retorna por vía urinaria y fecal (Maisonnave y Fabrizio de Ioro, 2001), si bien la distribución de las deyecciones sólidas es altamente irregular en sistemas extensivos, y el N de la orina se pierde en alto grado (hasta 30 %) por volatilización como amoníaco si no es rápidamente incorporado por el vegetal, para lo cual debe ser previamente convertido a formas inorgánicas (Roberts, 1996a; Baethgen, 1996).
- 4- Con relación al P es importante destacar que, aunque la retención de P dietario en bovinos es baja (en vacas lecheras el 75 % es excretado con las heces), la restitución del nutriente se efectúa de manera no uniforme en el lote: Díaz-Zorita (1998) señala que las áreas de deposición son muy pequeñas, aún en sistemas intensivos (en el O bonaerense, trabajando con pastoreos de altas cargas instantáneas y bajos tiempos de permanencia en las parcelas, se determinó que apenas el 13 % de la superficie pastoreada era cubierta por el bosteo, valor que se reduce notablemente con sistemas menos intensivos, como los imperantes en San Luis). Díaz-Zorita y Barraco (2002) informan que la producción extensiva de carne (tiempos de pastoreo prolongados) conduciría a una mayor tasa de agotamiento del P que condiciones intensivas de pastoreo. Las altas cargas instantáneas permiten mejor distribución de las deyecciones aunque naturalmente no evitan la reducción en la disponibilidad del nutriente: los mismos autores han observado en el NO bonaerense que la intensificación en la producción de carne conduce a niveles de pérdida de P similares a los obtenidos por rotaciones agrícolas continuas, comportamiento explicado básicamente por la concentración y traslados de fertilidad en las heces.
- 5- Para el caso del K valen las consideraciones efectuadas respecto del P, ya que un 75 - 80 % del nutriente absorbido con el alimento retorna al suelo con las deyecciones, siendo afectado por la distribución deficiente de las mismas (Mengel y Kirkby, 2000).

II. COSTO DE REPOSICIÓN DE MACRONUTRIENTES

La economía ambiental trabaja en el desarrollo de metodologías y técnicas confiables para establecer o al menos estimar los costos y beneficios monetarios (valoración) de los impactos debidos al uso de los recursos y el ambiente. Esa información, adecuadamente sistematizada, permite definir instrumentos de política dirigidos a promover el uso sustentable del ambiente, los que pueden abarcar desde mecanismos normativos (códigos, leyes, decretos) y administrativos (tarifas, cuotas) hasta económicos (impuestos, subsidios, creación de mercados) (Tommasini, 2001). La valoración económica que los actores sociales hacen de sus recursos ambientales y de los efectos de su uso resultan claves en el proceso hacia el manejo sostenible de los recursos naturales. Esta valoración surge del grado de percepción por parte de la sociedad de los costos y beneficios que la utilización de un recurso le significan.

La degradación de propiedades edáficas resulta a menudo en la pérdida de productos agrícolas y/o ganaderos (reducción de rendimientos). Al estudiar la depreciación del recurso suelo algunos autores estiman la reducción de ingresos futuros a causa de la degradación edáfica por medio de un análisis de pérdida de productividad (disminución del potencial y del valor económico de la tierra degradada), en tanto que otros calculan la depreciación del suelo mediante el método de costos de reposición de la calidad de la tierra (Calfucura T., 1998). Este último método fue el adoptado en el presente trabajo.

Son numerosos los autores (Viglizzo y Roberto, 1991; Benintende y Benintende, 1995- Berardo, 1996; Darwich, 1996; Díaz-Zorita, 1998; Montoya et al., 1999) que, convencidos de que los suelos empobrecidos comprometen la sostenibilidad de los sistemas de producción, coinciden en proponer como herramientas tecnológicas correctoras la restitución de nutrientes (esto es, la adición proporcionada al nivel de extracción del mineral) y la aplicación de prácticas de manejo conservacionistas (Veneciano, 2001).

De acuerdo con Roberts (1996a) la restitución de nutrientes adecuada a las necesidades del cultivo y a las condiciones del suelo puede mejorar el uso eficiente de los mismos en forma compatible con la protección ambiental. Pordomingo (1998), por su parte, advierte que en la región pampeana existe escasa información sobre la dinámica de los nutrientes (requerimientos, pérdida, movilidad, interacciones), y menos aún se ha investigado sobre los riesgos ambientales de la fertilización (particularmente en lo atinente a pérdidas de nutrientes lábiles -N, S- y sus efectos contaminantes del agua y del aire). Con los fertilizantes comerciales existe además un riesgo ambiental relacionado con la adición inadvertida de impurezas: los fosfatos de roca, fuente de producción de todos los fertilizantes fosforados, presentan en su composición elementos que pueden ocasionar toxicidad (Giuffré y Ratto, 2001; Lavado y Zubillaga, 2001). Sin embargo, que los fertilizantes tengan un impacto ambiental positivo o negativo depende en alto grado del manejo: los efectos de la fertilización son reducidos, y a menudo eliminados, cuando los cultivos se conducen con las mejores prácticas, equilibrando los consumos de producción en los niveles adecuados y utilizando técnicas de conservación de suelo y agua específicas para cada lugar, lo que minimiza las pérdidas hacia la atmósfera y las napas freáticas (Roberts, 1996a). No se desconoce por cierto que, tal cual señalan Zanotti y Buschiazzo (1997), la reposición de nutrientes minerales de ninguna manera compensa la pérdida de materia orgánica y de estructura. Tampoco se ignora la relevancia que podrá eventualmente adquirir con el tiempo la necesidad de restauración de otros nutrientes además de los aquí considerados. Aún así, el costo anual de restitución de los macronutrientes primarios para la provincia es de una magnitud destacable (Cuadro 6): casi 12 millones de dólares, de los cuales el 71,5 % corresponde a los cultivos agrícolas, destacando nítidamente entre éstos el maíz. Si, tal cual se planteara en el apartado I.I, se contemplara la pérdida de nutrientes minerales debida a erosión, el monto calculado se incrementaría de manera significativa.

Cuadro 6. Costo anual de restitución de macronutrientes primarios correspondientes a los principales agroecosistemas extensivos de San Luis.

Actividad	Superficie (ha)	Costo de restitución (U\$S)			
		N	P	K	Total
Maíz	133.484	2.662.869,0	1.164.250,1	577.958,4	4.405.077,5
Girasol	26.203	559.302,5	225.332,9	146.345,6	930.981,0
Sorgo granífero	26.335	687.192,0	381.638,4	195.993,6	1.264.824,0
Trigo	6.102	90.625,5	55.474,9	30.809,6	176.910,0
Soja	17.000	749.458,5	296.528,7	408.691,2	1.454.678,4
Otros cereales inv.	13.000	147.480,5	74.448,4	49.926,4	271.855,3
Ganadería bovina	7.123.613	1.879.708,5	1.355.430,7	162.028,8	3.397.168,0
Total		6.776.636,5	3.553.104,1	1.571.753,6	11.901.494,2

Para los cuatro cultivos agrícolas con mayor información disponible (maíz, trigo, sorgo granífero y girasol) la exportación de macronutrientes primarios en el período 1960-61/2000-01 alcanza cifras igualmente relevantes (Cuadro 7).

Cuadro 7. Macronutrientes primarios exportados por los principales cultivos agrícolas extensivos de San Luis entre 1960-01/2000-01, en tn y U\$S.

Cultivo	Macronutrientes exportados, en tn		
	N	P	K
Maíz	157.773,9	26.150,4	25.278,7
Girasol	35.181,4	5.373,6	6.793,1
Sorgo granífero	42.136,3	8.870,9	8.870,9
Trigo	5.878,9	1.363,2	1.476,9
Total	240.970,5	41.758,1	42.419,6

Cultivo	Costo restitución, en U\$S			
	N	P	K	Total
Maíz	108.075.122	47.253.773	23.458.634	178.787.528
Girasol	24.099.259	9.710.095	6.303.997	40.113.351
Sorgo granífero	28.863.366	16.029.716	8.232.195	53.125.277
Trigo	4.027.047	2.463.302	1.370.563	7.860.912
Total	165.064.793	75.456.887	39.365.389	279.887.068

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo con Puricelli (1985) una de las premisas que debe contemplar un sistema de producción racional es la utilización de las tierras para lo que son realmente aptas, y no por encima de esas posibilidades. Sin embargo, el problema de la producción agropecuaria, que es ya complejo en sus aspectos biológicos, está inserto dentro de otro sistema de mayor complejidad, de índole socio-política y económica: el negocio agropecuario supone no sólo tecnología de producción, sino también capacitación empresarial y del personal en lo atinente a análisis economi-

co, comercialización y financiamiento. Y las variables económicas tienen un fuerte efecto modelador sobre el sistema de producción utilizado (Viglizzo, 1989). Disponer de explotaciones que se hallan por debajo de la unidad económica es uno de los factores que fuerza al productor a elegir las actividades que le ofrecen mayor resultado neto por hectárea, extendiéndolas en superficie y prolongándolas en el tiempo más allá de los límites que la preservación del recurso suelo aconsejaría, lo cual torna al agroecosistema más sensible, más riesgoso, y menos flexible (García Tobar, 1985).

Otro factor decisivo es el cortoplacismo en el análisis económico. Los investigadores de agroecosistemas han comprendido que si los indicadores de productividad reflejan la situación en un momento dado, y no la proyección del sistema a través del tiempo, sólo tienen validez parcial (Viglizzo, 1989). Son muy raras las proyecciones de largo plazo que consideran como restricción para el crecimiento de la producción agropecuaria la limitación del recurso tierra a consecuencia de prácticas de uso inadecuadas. Los agroecosistemas de bajos insumos han considerado al sistema natural como donante de insumos esenciales.

La degradación por sobreextracción ha sido la consecuencia inevitable de esta perspectiva que generalmente culmina, con el paso del tiempo, en una declinación productiva y económica perceptible: la agricultura pampeana puede ser mostrada como ejemplo de sobreextracción de nutrientes del suelo y estancamiento de los rendimientos (Viglizzo y Roberto, 1997).

Ferrazzino y Formento (2001) afirman que la empresa agropecuaria debe incluir en sus costos el cuidado del suelo, pues de lo contrario estará subsidiando con el ambiente sus exportaciones. Es necesario que el empresario rural distinga con claridad entre ingresos de renta e ingresos de capital, ya que esto último implica la descapitalización de la empresa, esto es, la extracción de constituyentes no renovables del sistema (tales como elementos minerales edáficos: degradación química) y erosión. Tal cual señalan Viglizzo y Roberto (1991), es digno de mención que en los cálculos económicos no se compute la pérdida de nutrientes como un costo para la empresa rural. Así, para la actividad agrícola de San Luis, planteada una determinada expectativa de rendimiento, podemos ilustrar en forma apenas aproximada el valor de descapitalización que asume la pérdida de fertilidad edáfica según el cultivo (Cuadro 8). Dichas estimaciones comprenden la reposición de macronutrientes primarios (N, P, K). Para un ejercicio más completo deberían incluirse asimismo los costos de restitución de los demás nutrientes exportados con el grano, los gastos de aplicación del fertilizante, el monto de la remoción adicional de nutrientes debida a procesos erosivos cuando se trabaja con labranza convencional, así como los costos derivados de la profusión de malezas que invariablemente sucede a los cultivos, en especial cuando hay remoción de suelo y no se hace uso de herbicidas.

Cuadro 8. Costo de reposición de macronutrientes primarios correspondientes a los principales cultivos agrícolas extensivos de San Luis, según rendimiento (U\$S/ha).

	MAÍZ		
Rendimiento esperado (kg/ha)	2.000	3.000	4.000
Costo de reposición de nutrientes (U\$S)	41,0	61,6	82,0
	GIRASOL		
Rendimiento esperado (kg/ha)	900	1.500	2.100
Costo de reposición de nutrientes (U\$S)	35,7	59,6	83,1
	SORGO GRANÍFERO		
Rendimiento esperado (kg/ha)	2.000	3.000	4.000
Costo de reposición de nutrientes (U\$S)	47,9	71,8	95,9
	SOJA		
Rendimiento esperado (kg/ha)	1.000	2.000	3.000
Costo de reposición de nutrientes (U\$S)	53,1	106,4	159,5
	TRIGO		
Rendimiento esperado (kg/ha)	800	1.400	2.000
Costo de reposición de nutrientes (U\$S)	22,2	38,8	55,4

AGRADECIMIENTO

Al ing. Jorge A. Garay por su predisposición para evacuar las consultas efectuadas.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Saethgen, W.E. 1996. Dinámica del nitrógeno en los sistemas agrícologanaderos. CIDA-SRA, 3° Seminario de actualización técnica Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras: 123-144.
- Baigorri, H.E.J.; Echeverría, H.; Fontanetto, H.; Galarza, C.; Gambaudo, S.; García, F.O. y Melgar, R. 1997. Fertilidad y fertilización. INTA C.R. Córdoba, El cultivo de la soja en Argentina (cap. 10): 201-212.
- Benintende, S.M. y Benintende, M.C. 1995. Biomasa microbiana en praderas en rotaciones ganadero - agrícolas fertilizadas con fósforo. INTA, Revista de investigaciones agropecuarias 26 (1): 93-99.
- Berardo, A. 1996. La fertilización fosfatada y nitrogenada de las pasturas y sus efectos en distintos sistemas de producción. CIPIA-SRA, 3° Seminario de actualización técnica Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras": 173-182.
- Bolsa de cereales 1964. Revista institucional. N° estadístico 1964.

- 1978. Revista institucional. N° estadístico 1978.
- 2001. Revista institucional. N° estadístico 1998-1999/1999-2000.
- Bolsa de cereales de Buenos Aires 1990. Revista institucional. N° estadístico 1990.
- Calfucura T., E. 1998. Ingreso económico y valorización del medio ambiente. IICA, Diálogo LI (Procisur): Valoración económica en el uso de los recursos naturales y el medio ambiente: 13-35.
- CREA 2002. Revista de los CREA año XXXV n° 259 (mayo).
- Cursack de Castignani, A.M.; Orellana, J.A. de; Pilatti, M.A.; D'Angelo, C.H.; Grenón, D.A.; Sánchez, D.E. y Bouzo, C.A. 1997. Metodología para evaluar la rentabilidad y sostenibilidad de agrosistemas en la cuenca lechera santafesina. UNL, Rev. FAVE 11 (1): 9-23.
- y Travadelo de Bevilacqua, M. 1997. El análisis económico en la conservación de suelos: aspectos metodológicos. UNL, Rev. FAVE 11 (11): 48-61.
- Curti, J.C. 1999. Intensificación y medio ambiente: todo por el suelo. Rev. Mercado Rural 10: 20-23.
- Darwich, N.A. 1989. Manual de fertilidad de suelos. INTA-SAGyP-JNG, Baicarce (Bs. Aires, Argentina).
- 1994. Los sistemas mixtos y la fertilidad de los suelos. AACREA (Bs. Aires), 20 simposio tecnológico (Conf.): 16 p.
- 1996. La fertilización de maíz bajo riego. CPIA-SRA, 3° Seminario de actualización técnica "Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras»: 159-165.
- Díaz-Zorita, M. 1998. Producción de carne bajo pastoreo en Argentina: ¿es una práctica sostenible?. AAPA, 220 Congreso arg. prod. animal "Sustentabilidad de los sistemas mixtos agrícola-ganaderos" (Río Cuarto, Cba.), Conferencias: 34-45.
- y Barraco, M. 2002. ¿Cómo es el balance de fósforo en los sistemas pastoriles de producción de carne en la región pampeana? INPOFOS, Informaciones agronómicas de; Cono Sur n° 13: 8-11.
- Ferrazzino, A. y Formento, S. 2001. Gerenciamiento ambiental. Ed. Fac. de Agronomía (UBA), Impacto ambiental en agrosistemas (cap. 3): 35-47.
- FUNIF 1999. Caracterización productiva de la pcia. de San Luis. Gob. Pcia. San Luis, Mapa productivo provincial (Tomo I).
- Garay, J.A. y Colombino, M.A. 2002. Guía técnica para los cultivos de maíz y girasol bajo condiciones de riego en la pcia. de San Luis. EEA San Luis (INTA), Inf. técnica 158.
- García Tobar, J.A. 1985. El futuro de la ganadería en zonas agrícolas. AAPA, Rev. Arg. Prod. Anim. 4 (Supl. 2): 3-31.
- Giuffrè, L. y Ratto, S. 2001. Contaminación de suelos. Ed. Fac. de Agronomía (UBA), Impacto ambiental en agrosistemas (cap. 4): 49-67.
- González, N.,- Peticari, A.; Stegman de Gurfinkei, B. y Rodríguez Cáceres, E. 1997. Nutrición nitrogenada. INTA C.R. Cba., El cultivo de la soja en Argentina, cap. 9: 187-200.
- INTA San Luis 1986. Diagnóstico agropecuario de la pcia. de San Luis. EEA San Luis (INTA): 101 p.
- Lavado, R.S. y Zubillaga, M.S. 2001. Efecto ambiental de la actividad industrial, la vida urbana y la producción agropecuaria. Ed. Fac. de Agronomía (UBA), Impacto ambiental en agrosistemas (cap. 8): 141-169.
- Maisonave, R. y Fabrizio de Joro, A. 2001. Contaminación de aguas. Ed. Fac. de Agronomía (UBA), Impacto ambiental en agrosistemas (cap. 5): 69-91.
- Marca Líquida Agropecuaria 2002. Rev. Marca Líquida año XII n° 107 (agosto).
- Martínez Álvarez, D.L. y Bongiovanni, M. 2002. Relevamiento del cultivo de soja en San Luis. El Diario de la República (2810912002).
- Mengel, K. y Kirkby, E.A. 2000. Aplicación de fertilizantes. Inst. Intern. de la Potasa - Basilea (Suiza), Principios de nutrición vegetal, cap. 6: 267-304.
- Montoya, J.; Bono, A.; Suárez, A.; Babinec, F. y Darwich, N. 1999. Disminución del fósforo asimilable en La Pampa. INTA (Proy. Fertilizar), Rev. Fertilizar 14: 27-28.
- Pearson, C.J. e Ison, R.L. 1994. Nutrición mineral. Edit. Hemisterio Sur (10 ed.), Agronomía de los sistemas pastoriles (cap. 5): 61-76.
- Pordomingo, A.J. 1998. Evaluación de la sustentabilidad en los agrosistemas mixtos de la región pampeana. AAPA, 22° Congreso arg. prod. animal "Sustentabilidad de los sistemas mixtos agrícola-ganaderos" (Río Cuarto, Cba.), Conferencias: 16-32.
- Puricelli, C.A. 1985. La agricultura rutinaria y la degradación de; suelo en la región pampeana. AAPA, Rev. Arg. Prod. Anim. 4 (Supl. 2): 33-48.
- Ratto, S. y Conti, M. 1996. El análisis de suelo: una herramienta indispensable para una producción eficiente, rentable y sostenida. CPIA-SRA, 3° Seminario de actualización técnica "Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras": 31-38.
- Roberts, T.L. 1996a. Fertilidad del suelo. Comportamiento y dinámica de los nutrientes. CPIA-SRA, 3° Seminario de actualización técnica "Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras": 11-30.
- 1996b. Los fertilizantes y su impacto en el medio ambiente. CPIA-SRA, 30 Seminario de actualización técnica "Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras": 199-215.
- Tomasini, D. 2001. Valoración económica de; ambiente. Ed. Fac. de Agronomía (UBA), Impacto ambiental en agrosistemas (cap.- 7): 113-140.
- Veneciano, J.H. 1995. Forrajeras cultivadas en San Luis: cifras y reflexiones. EEA San Luis (INTA), Proy. ganadero-agrícola sostenible, Inf. técnica 137.
- 1998. Apreciaciones acerca de la actualidad ganadera de San Luis y sus posibilidades. EEA San Luis (INTA), Inf. técnica 147.
- 2001. Componentes de sostenibilidad en planteos de cría del centro-este de San Luis. Su incidencia en el resultado económico. FICES (UNSIL), Tesis (Gestión Ambiental).
- y Lartigue, E.C. 2000. Pérdidas de fósforo en suelos con uso ganadero. FICES (UNSL), Esp. en gestión amb. (monogr. 2): 19 p.

- ; Terenti, O.A. y Funes, M.O. 2002. Valoración de recursos forrajeros nativos e introducidos. GTZ-INTA, Con las metas claras: La EEA San Luis, 40 años en favor del desarrollo sustentable (en prensa).
- Viglizzo, E.F. 1989. La interacción sistema-ambiente en condiciones extensivas de producción. AAPA, Rev. Arg. Prod. Anim. 9 (4): 279-294.
- 1995. La sustentabilidad en agricultura. ¿Cómo evaluar y medir?. INTA, Rev. de investigaciones agropecuarias 26 (1): 1-15.
- y Roberto, Z.E. 1991. Evolución y tendencia del agroecosistema en la pampa semiárida. CPIA, Boletín año III n° 9: 17-20.
- y ----- 1997 . El componente ambiental en la intensificación ganadera. AAPA, Rev. Arg. Prod. Anim. 17 (3): 271-292.
- Zanotti, N.L. y Buschiazzi, D. 1997. El suelo. Un cálculo económico de la degradación. INTA - C.R. La Pampa/San Luis, Horizonte Agropecuario: 4-5.

Volver a: [Suelos ganaderos](#)