

CICLADO DE NUTRIENTES EN SISTEMAS PASTORILES

Ing. Agr. (PhD) Martín Díaz-Zorita. 2002. INTA General Villegas, Bs. As.
www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Suelos ganaderos](#)

El ciclado de nutrientes puede definirse como el movimiento de los nutrientes dentro y entre los componentes bióticos y abióticos de un ecosistema. Este movimiento ocurre a través de muchos compartimentos y es muy complejo. Dado que no todos los nutrientes siguen el mismo camino o tienen las mismas transformaciones los principios para la discusión de su ciclado no son únicos.

Los ciclos de nutrientes son frecuentemente descriptos como “cerrados” o “abiertos”. En el caso de los primeros (“ciclos cerrados”) los intercambios de nutrientes con reservorios externos al ecosistema son de escasa magnitud y las demandas nutricionales de los organismos son cubiertas a través del ciclado de nutrientes remanentes en el sistema a lo largo del tiempo. Por el contrario, en los “ciclos abiertos” las transferencias desde y hacia el ecosistema ocurren regularmente. Las ganancias y pérdidas de nutrientes pueden ocurrir simultáneamente y ser no necesariamente de igual magnitud. El concepto de ciclos “abiertos” y “cerrados” pueden aplicarse a los nutrientes en forma individual o colectiva. En los pastizales naturales predominan los ciclos cerrados mientras que en el caso de las pasturas implantadas, con fertilización y exportaciones con los animales, los ciclos de nutrientes son normalmente abiertos.

En esta presentación nos concentraremos en el ciclado de N y P, nutrientes que en la región pampeana regulan mayoritariamente la productividad de las pasturas y que a la vez presentan características contrastantes tanto en su dinámica en el suelo como en su ciclado a través de los animales. El azufre presenta características intermedias en cuanto a la dinámica y ciclado de N y P en sistemas pastoriles y su importancia sobre la productividad de las pasturas en la región pampeana es creciente por lo que también se expondrán algunos conceptos de su ciclado.

ELEMENTOS DEL CICLADO DEL N Y DEL P EN SISTEMAS PASTORILES

En las figuras 1 y 2 se presentan los ciclos simplificados de transferencias de N y P en sistemas pastoriles. En ambos casos se puede observar la dependencia externa (ciclos abiertos) a través del depósito o ingreso de los elementos a partir de fuentes externas al sistema de producción y la extracción o egreso en productos animales y pérdidas no productivas.

Fig. 1: Esquema simplificado del ciclo del N en sistemas pastoriles.

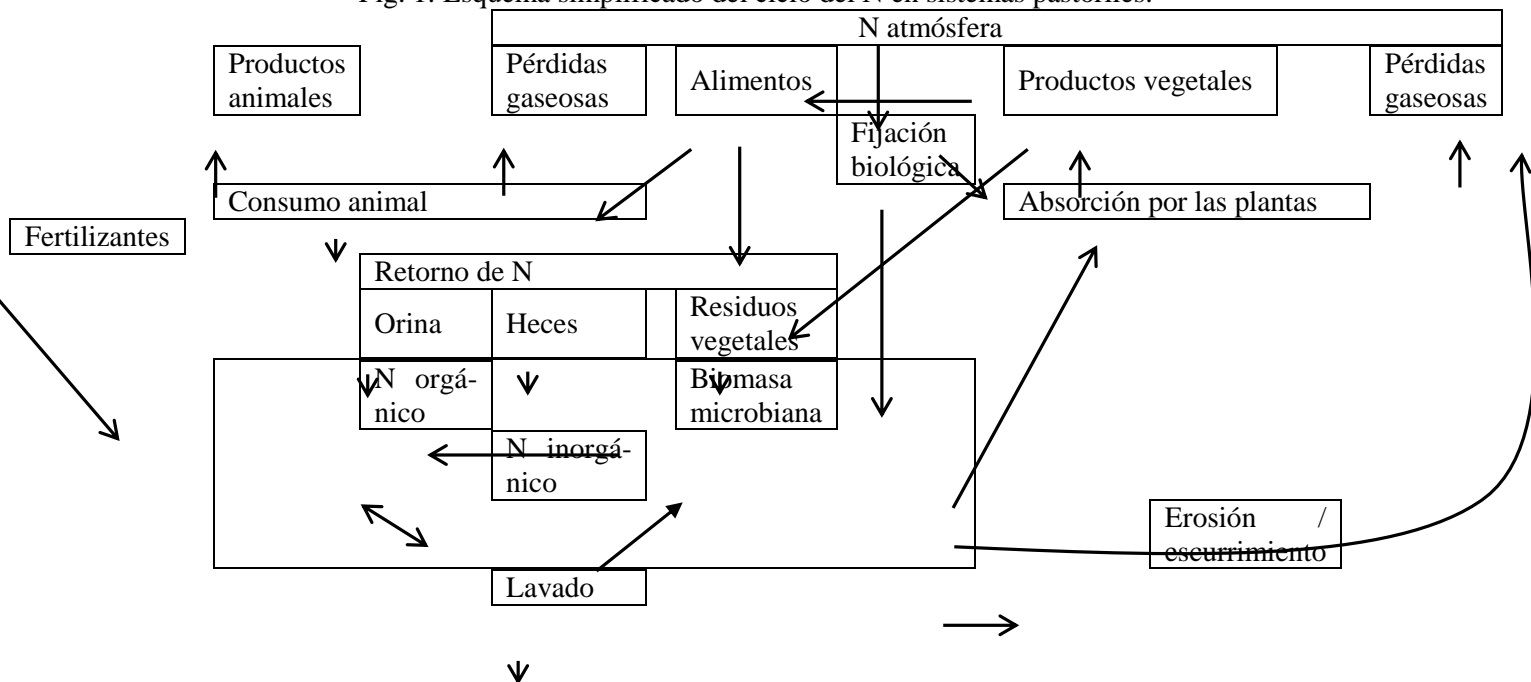
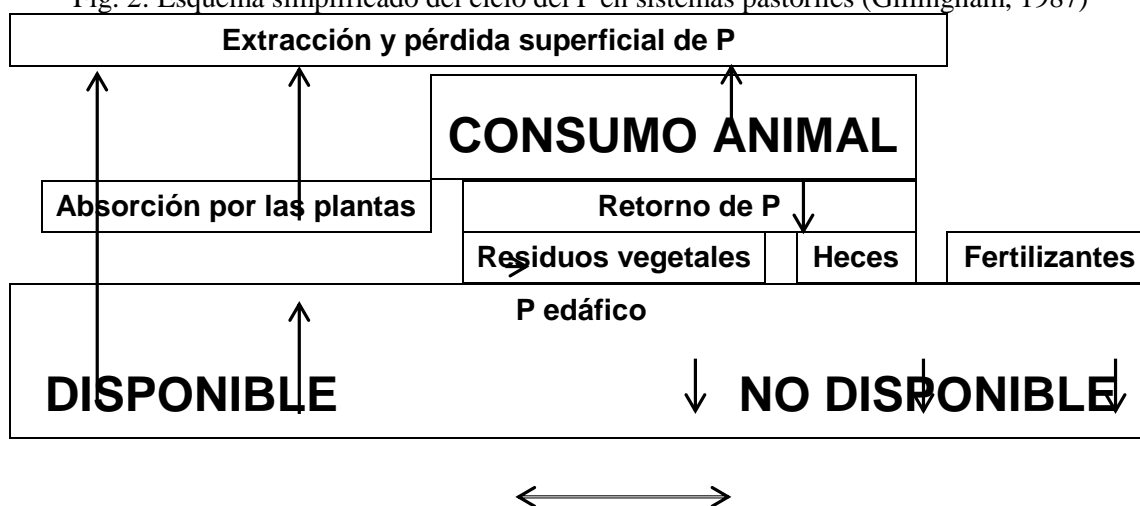


Fig. 2: Esquema simplificado del ciclo del P en sistemas pastoriles (Gillingham, 1987)



Las vías naturales de ingreso de nutrientes en los sistemas pastoriles son las deposiciones atmosféricas y la fijación biológica del N de la atmósfera por las leguminosas. Estos aportes varían según nutrientes y la ubicación de los ecosistemas con relación a la fuente de emisión. En cercanías de áreas con alta contaminación industrial, fundamentalmente en regiones costeras, es posible el depósito anual de 1 a 3 kg/ha de N y de 1 a 2 kg/ha de P. La fijación biológica no simbiótica del N atmosférico es también de escasa magnitud, algunas estimaciones para ambientes de regiones templadas sugieren niveles anuales entre 1 y 2 kg/ha de N. En cambio, en presencia de leguminosas, la fijación biológica por la simbiosis con *rhizobium* es de mayor magnitud. Resultados del proyecto PRONALFA de INTA muestran niveles anuales de fijación de N en cultivos de alfalfa de hasta 450 kg/ha, proporcionales a la producción de materia seca de la pastura a razón de 2.3 kg de N por cada 100 kg de materia seca.

El fósforo no presenta importantes vías naturales o biológicas de reposición al sistema pastoril. Además como muestra escasa movilidad en la solución del suelo su salida del sistema está concentrada en la captación por las plantas y el consumo por los animales y en menor magnitud por escurrimientos superficiales. En el caso del N, su salida del sistema puede ocurrir tanto por la extracción por las plantas y el consumo animal como por el lixiviado hacia capas profundas del suelo, volatilización y denitrificación. En ambos nutrientes, la pérdida de suelo (erosión) o su escurrimiento superficial son mecanismos de pérdida del sistema.

Los fertilizantes, tanto de síntesis química, naturales (ej. roca fosfórica) o de origen orgánico (i.e. enmiendas con residuos animales y/o vegetales producidos fuera del sistema) son vías antrópicas de ingreso de los nutrientes, de mayor importancia para el caso del P dada la insignificante contribución de mecanismos exógenos al ecosistema.

FIJACIÓN SIMBIÓTICA DEL NITRÓGENO

El aire contiene más del 78% de nitrógeno gaseoso (N_2), sin embargo, la mayoría de los organismos vivos son incapaces de utilizarlo en ese estado. No obstante, existen microorganismos de vida libre o simbióticos, que son capaces de convertir el N_2 en NH_4^+ , forma fácilmente absorbida por las plantas. De estos dos grupos de organismos fijadores, los más importantes son los que lo hacen en simbiosis con las leguminosas y pertenecen a los géneros *Rhizobium* o *Bradyrhizobium*.

Simbiosis es una relación entre seres vivos en la cual ambos organismos se benefician. *Rhizobium* invade los pelos radicales y las células corticales, induciendo a la formación de nódulos, en los cuales la bacteria se reproduce y establece. La leguminosa provee de carbohidratos (fuente de energía) a la bacteria y esta proporciona a la planta huésped de compuestos nitrogenados, sintetizados a partir del N_2 atmosférico fijado. Dada esta capacidad, las pasturas de leguminosas son una alternativa para la obtención de forrajes con alto valor nutritivo e incorporación de nitrógeno al suelo. Resultados del proyecto PRONALFA de INTA estimaron que una fijación simbiótica en alfalfa media para en ambientes de la región pampeana de Argentina de 235 kg/ha/año, con valores máximos de hasta 650 kg/ha/año (Racca y col. 1998). En ese rango se conjugan varios factores tanto de la bacteria específica que interviene en este proceso como de la planta huésped que afectan la eficiencia del proceso de fijación biológica.

Las bacterias fijadoras no sólo deben presentar capacidad de infección sino también de efectiva fijación del N atmosférico. Es indispensable considerar la inoculación como factor primario para la provisión de cepas fijadoras atendiendo al manejo de seres vivos y proveyéndoles de condiciones adecuadas para su supervivencia en el suelo. Son varios los factores ambientales o de manejo que en el momento de la siembra determinan el éxito (o fracaso) de la nodulación con las cepas provistas por el inoculante. *Rhizobium* es una bacteria, por lo que condiciones de alta temperatura o de baja humedad pueden favorecer su mortalidad por desecación. A su vez, los rayos ultravioleta-

tas del sol son bactericidas y la exposición directa del inoculante a los rayos solares produce la muerte de las bacterias, aún en condiciones de bajas temperaturas. *Rhizobium* es sensible a suelos ácidos, ambientes con pH menor a 6 limitan la supervivencia de Rhizobia. La supervivencia de la bacteria también requiere suelos bien oxigenados.

En cuanto a la planta huésped (leguminosa), las condiciones que afectan a la efectividad de la nodulación y fijación biológica pueden resumirse en aspectos vinculados con su tasa de crecimiento y por lo tanto capacidad de provisión de carbohidratos a las bacterias a partir de la fotosíntesis. Resultados del proyecto PRONALFA de INTA mostraron que se fijarían 2.3 kg/ha de N por cada 100 kg/ha de producción de materia seca. En este contexto la disponibilidad de agua y nutrientes juega un papel preponderante sobre el crecimiento de la alfalfa y por lo tanto sobre la fijación del nitrógeno. Son abundantes los estudios que muestran beneficios en producción de forraje y en indicadores del estado de la nodulación a partir del manejo eficiente de la nutrición de las pasturas (Figs. 3 y 4, Tabla 1). Los resultados del proyecto PRONALFA confirman esta observaciones y a partir de análisis multivariado se detectó que la disponibilidad de agua y el contenido de P disponible son los factores que en la región pampeana regulan en mayor proporción el ritmo de crecimiento de la alfalfa y por lo tanto la tasa de fijación biológica de nitrógeno. El mejoramiento en la nodulación, no sólo mejora la respuesta en el uso de los nutrientes aplicados al proveer de ambientes mejor provistos en N sino que aumenta su incorporación en el sistema productivo y por lo tanto su residualidad y disponibilidad para especies no fijadoras del N atmosférico.

Fig. 3: Fertilización fosfatada y biomasa nodular en alfalfa 190 días después de la siembra en el NO de Buenos Aires (Duarte y col., com. pers).

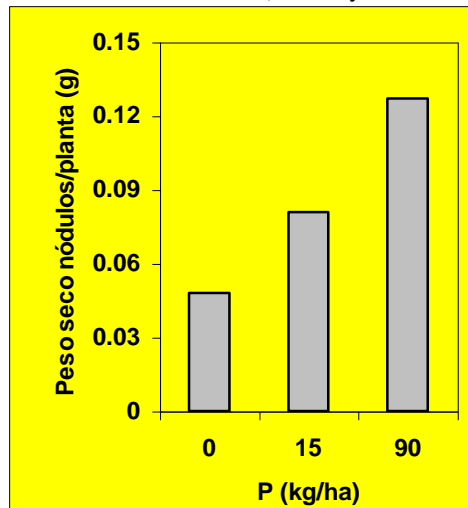


Fig. 4: Número de nódulos y producción inicial de plantas de alfalfa fertilizadas con urea o con sulfato de amonio en la región noroeste bonaerense (Díaz-Zorita y Fernández Canigia, 1998).

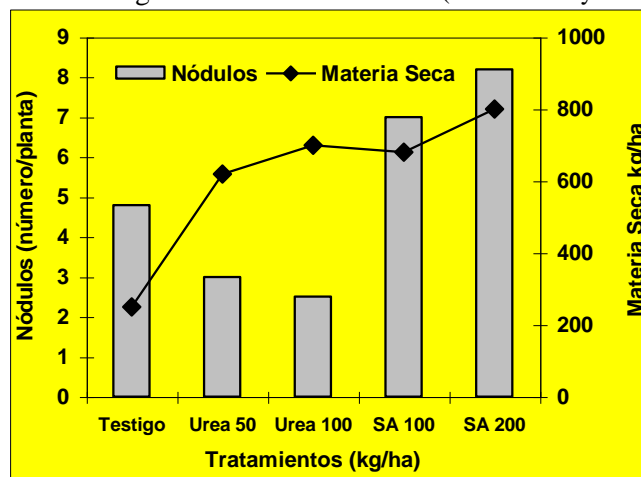
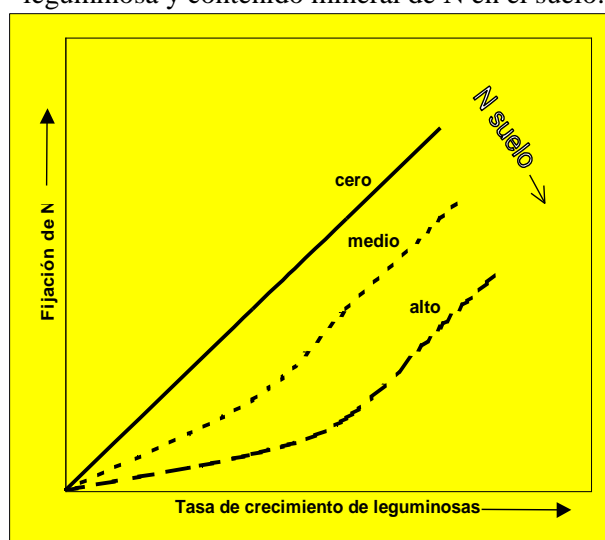


Tabla 1: Fertilización con Boro y nodulación de alfalfa en implantación en 6 ambientes del centro-oeste de Buenos Aires. Campaña 1997 (Amador, inédito)

Sitio	Nódulos (nro./planta)		Altura (cm)	
	Control	Con B	Control	Con B
Salazar ML	23	33	3.0	4.7
Salazar L	6	13	2.5	3.6
Daireaux	5	9	3.6	3.4
Daireaux ML	3	4	1.5	1.2
Bonifacio	4	9	4.9	4.4
Promedio	8.2	13.6	3.1	3.5
ML: Media loma; L: Loma				

Las leguminosas pueden usar dos fuentes alternativas de N, el N₂ de la atmósfera y el N inorgánico del suelo. Si está disponible, el N del suelo es utilizado por las leguminosas y sólo en condiciones de altas concentraciones de N mineral también ocurre la fijación biológica. El aporte de N debe equiparar las demandas nitrogenadas de las plantas y para ello proviene tanto del suelo como de la atmósfera (Fig. 5).

Fig.5: Generalización de la relación entre N fijado biológicamente, tasa de crecimiento de la leguminosa y contenido mineral de N en el suelo.



El efecto residual de la fijación simbiótica de N se extiende aproximadamente entre 4 y 6 años después de una pradera mixta (Loewy, 1987). En ese período la provisión de N para los cultivos de cosechas es decreciente con respuestas a la fertilización variables y de escasa magnitud.

EL CICLADO DE P EN PASTURAS IMPLANTADAS

El consumo del P por las especies componentes de las pasturas está mayormente regulado por las condiciones de crecimiento de las mismas las que varían entre especies y estacionalmente en respuesta a factores tales como temperaturas y disponibilidad de agua y otros nutrientes, en especial nitrógeno. En condiciones de producción animal sobre la base de forrajes la mayor proporción de los requerimientos de P para la nutrición de los animales es provista por las plantas, siendo complementada en condiciones específicas por el uso de suplementos minerales. Las plantas forrajeras jóvenes, además de ser más palatables proveen de una mayor concentración de P que las viejas. Por lo tanto la selección del consumo hacia plantas con mayor palatabilidad, fundamentalmente en condiciones de baja carga animal, intensifica la extracción de P del sistema.

Además de la aplicación de fertilizantes con P, este elemento retorna al suelo por las heces y los materiales vegetales muertos (Fig. 2). La concentración de P normal en la orina es despreciable desde el punto de vista de su retorno al sistema. La cantidad de P ciclada a través de las heces varía según el nivel de alimentos consumidos y su contenido de P. El patrón de distribución de las heces es de significativa importancia para la economía del ciclo del P. La mayor deposición de heces es nocturna conduciendo a importantes transferencias de elementos en condiciones de manejos pastoriles durante el día y estabulados nocturnos.

La restitución del P de residuos vegetales muertos (mantillo, raíces, etc.) es variable dependiendo de su composición en otros elementos y el tipo de material vegetal depositado en el suelo. En general, residuos de plantas

jóvenes inducen a una mayor actividad microbiana, rápida desaparición del residuo y muerte de la población microbiana con liberación de formas inorgánicas de P. Por el contrario, el desarrollo microbiano sobre materiales maduros es más lento y una escasa proporción del P es reciclado en el subsistema descomponedor con poca liberación de P inorgánico. La liberación neta de P por mineralización es mayor en condiciones de alta concentración de N y P en los residuos vegetales, si los contenidos de P en el suelo son altos y con temperaturas moderadas a altas.

El P orgánico de los residuos vegetales y las heces contribuye primariamente a las formas orgánicas de P en el suelo, aunque algo del P está inmediatamente disponible para las plantas. Cuando los alimentos son ricos en P (concentración mayor a 0.06% de P) una alta proporción del P de las heces se encuentra en forma inorgánica. Por ejemplo, consumos de alimentos con 0.24% de P inducen al ciclado del 75% del P en forma inorgánica en las heces pasando mayormente a la solución del suelo.

La remoción del P en productos animales es aproximadamente el 36% de la ingesta en condiciones intensivas de producción de leche y del 10 % para producciones de carne. El P es también transferido a sectores fuera del área de producción de la pastura (callejones, salas de ordeño, camiones, etc.) a través de la deposición de heces. La pérdida neta del P es escasamente modificada por el sistema de pastoreo siendo de importancia el efecto de la intensificación de la carga animal sobre los patrones de distribución de heces. Esgurrimiento superficial y en menor proporción erosión de suelos bajo pasturas son también formas de pérdida de P reciclado a través de las heces y por aplicaciones superficiales de fertilizantes que incrementan los niveles inorgánicos de P en los suelos. Estas pérdidas son de escasa importancia sobre la productividad de las pasturas pero resultan de significativa relevancia por sus efectos ambientales al acumularse en cursos de agua y otros reservorios induciendo al fenómeno de eutroficación.

TRANSFERENCIA DE NUTRIENTES HACIA Y DESDE LOS ANIMALES

El efecto de los animales en pastoreo sobre la transferencia de nutrientes ocurre a través del ciclado múltiple. Este proceso es simplemente por la ingestión de formas orgánicas de nutrientes y su conversión interna y deposición tanto como formas inorgánicas u orgánicas relativamente simples (ej. urea, aminoácidos) que se convierten rápidamente en formas inorgánicas una vez excretados. En este contexto se induce a la depresión de los contenidos de nutrientes en algunos sitios de las pasturas y a su incremento en otros sectores.

La cantidad de nutrientes consumida por los animales está determinada por la productividad de los forrajes y su estado fenológico. Al avanzar el estado fenológico de las pasturas su concentración de nutrientes decrece (Tabla 2). Aún en condiciones óptimas de pastoreo los animales asimilan una pequeña proporción de los nutrientes que consumen. En general, los vacunos retienen entre el 15 y el 20 % de los nutrientes ingeridos con el forraje. La proporción remanente regresa al sistema suelo-planta principalmente a través de la orina y las heces. La orina contiene mayormente residuos del metabolismo mientras que las heces fundamentalmente forraje no digerido, productos microbianos y tejidos muertos. La proporción relativa entre orina y heces es en parte dependiente de la calidad y cantidad del forraje ingerido. El N es mayormente excretado en la orina mientras que en ésta las cantidades de P son despreciables.

Tabla 2: Rangos típicos de concentraciones (%) de N, P y S en pasturas de gramíneas sin fertilización según estados fenológicos (Clarck y Woodmansee, 1992)

Estadio de crecimiento	N	P	S
Vegetativo temprano	2.0 – 3.0	0.22 – 0.33	0.11 – 0.17
Vegetativo tardío	1.6 – 2.0	0.18 – 0.22	0.09 – 0.11
Floración	1.4 – 1.8	0.16 – 0.20	0.08 – 0.10
Biomasa muerta	0.8 – 1.3	0.09 – 0.14	0.05 – 0.07

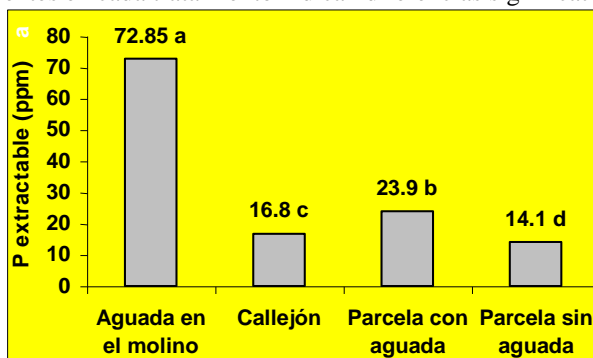
La distribución de heces y orina no es uniforme en las pasturas y tiende a depositarse en áreas discretas. El pastoreo no ocurre al azar, excepto con altas cargas, por lo que los animales tienden a alimentarse en ciertas áreas con regularidad evitando otras. Este comportamiento se correlaciona con patrones de topografía, diferencias en las comunidades de especies forrajeras u otros factores tales como aguadas, árboles y alambrados. La heterogeneidad en pequeña escala origina mosaicos de fertilidad dependiendo del área cubierta por los excrementos en forma individual. En general, el área cubierta por heces individuales varía entre 0.05 y 0.13 m². El área afectada por cada deposición de orina varía entre 0.5 y 1.0 m² por lo que en promedio, un animal puede afectar entre 4 y 8 m² de superficie.

La restitución de nutrientes a través de las heces no se realiza de forma uniforme en toda la pastura, sino que se detectan sectores de concentración (proximidades de aguadas, comederos, alambrados, callejones, etc.) y normalmente la transferencia fuera del sitio de pastoreo (corrales de encierre, salas de ordeño, camiones, etc.). Por otra parte, es normal que las reservas de forraje, aún producidas en un mismo establecimiento, sean suministradas en

potreros diferentes al de origen constituyendo en importantes traslados de fertilidad, llegando en estos sectores al aumento en los niveles de nutrientes en magnitud similar a la condición original sin uso agropecuario. La práctica de incorporación de la aguada en cada parcela de pastoreo reduce las pérdidas de nutrientes hacia sectores improductivos (Fig. 6) al asegurarse una mayor permanencia de los animales en los sectores bajo pastoreo y facilita una mejor distribución de las heces (Fig. 7). Si los animales pasan gran parte de su tiempo en áreas relativamente pequeñas (sombras, corrales, etc.) el efecto de ciclado de nutrientes resulta localizado.

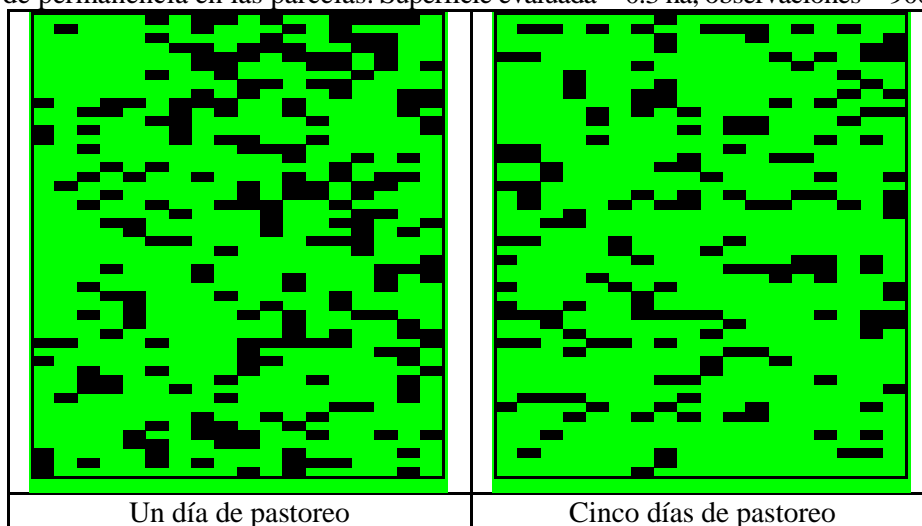
Fig. 6: Efecto de la ubicación de aguadas sobre el nivel de fósforo extractable (Bray Kurtz 1) en un Hapludol éntico en sistemas de pastoreo intensivo (Díaz-Zorita et al. 1998).

Letras diferentes en cada tratamiento indican diferencias significativas ($p < 0.05$)



En la figura 7 se presentan mapas de distribución de heces según intensidad instantánea de pastoreos para un área de aproximadamente 1/3 de ha. Estudios recientes en el oeste bonaerense muestran que en pastoreos con altas cargas instantáneas que logran bajos tiempos de permanencia en las parcelas, el bosteo cubre aproximadamente el 13 % de la superficie pastoreada y es superior a la detectada en condiciones de pastoreos más prolongados. Por otra parte, la mayor concentración instantánea de animales favorece el esparcido de las heces por estallido como consecuencia del pisoteo. No se determinaron diferencias significativas en la cantidad de heces producidas en ambos sistemas bajo igual carga animal media.

Fig. 7: Distribución de heces vacunas luego del pastoreo de pasturas de alfalfa con uno o cinco días de permanencia en las parcelas. Superficie evaluada = 0.3 ha, observaciones = 900/



Los efectos de traslados de fertilidad fuera de las pasturas y su intensidad según tiempos de permanencia de los animales pueden observarse en la tabla 3. Este estudio se está desarrollando sobre suelos Hapludoles típicos ubicados en el noroeste de Buenos Aires y compara los niveles medios de P extractable entre sistemas de producción, intensidades de pastoreo y en diferentes sectores de un mismo sistema de producción. En general la producción extensiva (largos tiempos de pastoreo) conduciría a una mayor tasa de agotamiento del P que en condiciones de pastoreos más intensos. En el caso de los tambos, si bien los tiempos de permanencia son mínimos (altas cargas instantáneas), el tiempo de pastoreo es muy corto y los animales pasan gran parte del tiempo en corrales y callejones donde se concentran las deposiciones de heces. En este sistema la menor acumulación de P se relaciona con frecuentes remociones y rellenado con suelos con menores contenidos de P.

Tabla 3: Efecto de sistemas ganaderos de producción sobre los niveles medios de P en el suelo (Barraco y Díaz-Zorita, inédito).

	Sistema de producción			
	Tambo	Guachera	Carne intensivo	Carne extensivo
Duración del pastoreo (días)	0.5	1	6	15
Ubicación	P (ppm)			
Lote	36	54	41	26
Callejón	64 [†]	73	71	74
Corral encierre	58 [†]	72	73	74
Aguada	64 [†]	73	71	74
[†] Se realizan remociones superficiales y rellenados frecuentes				

EFFECTOS DEL CICLADO DE NUTRIENTES SOBRE LA SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN GANADERA EN LA REGIÓN PAMPEANA

En la región pampeana, la mayoría de los agroecosistemas se desarrollan en condiciones extensivas. Su productividad, estabilidad y sostenibilidad dependen básicamente de la fertilidad de los suelos, en interacción con otros factores ambientales y de manejo. Por lo tanto, interrogarnos acerca de la sostenibilidad de los sistemas de producción de carne incluye la consideración de conceptos más amplios que sólo su nivel de productividad actual. Entre estos se encuentran las modificaciones en las propiedades de los suelos que pueden alterar la normal relación entre productividad y sostenibilidad.

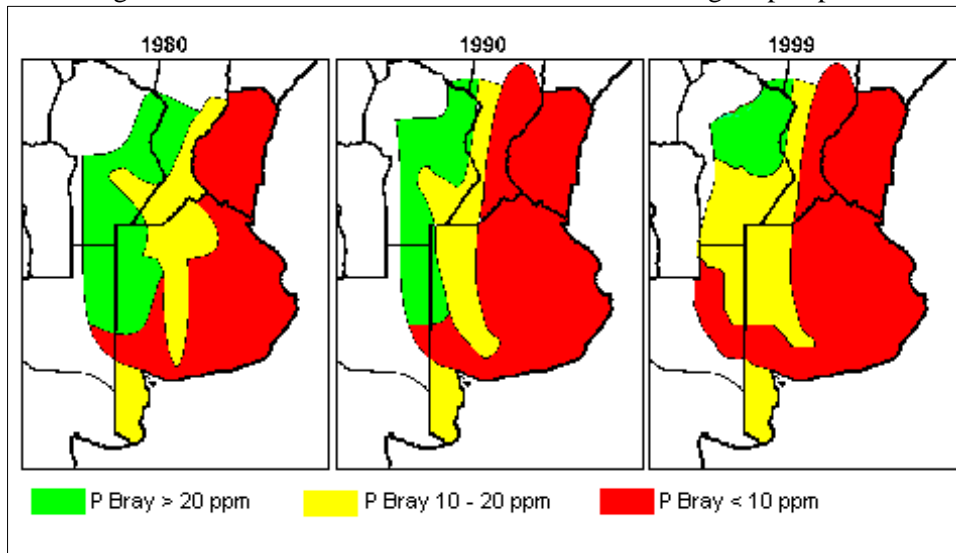
Los sistemas ganaderos en Argentina se basan principalmente en el pastoreo directo de pasturas, fundamentalmente compuestas por gramíneas y leguminosas. Las pasturas en estos sistemas tienen dos funciones centrales: En primer lugar la producción de forraje para la alimentación animal durante la mayor parte del año, según la cadena forrajera contemplada. En segundo orden la recuperación de la fertilidad potencial de los suelos por incrementos en los contenidos de materia orgánica y por la fijación biológica del nitrógeno atmosférico. El establecimiento de pasturas perennes con gramíneas, durante al menos 3 a 5 años, permite la recuperación física de los estratos superiores de suelos degradados (Suero y Garay, 1978; Díaz-Zorita y Davies, 1995). La rotación agrícola-ganadera ha sido descrita como un sistema estable y energéticamente muy eficiente (Puricelli, 1985).

Si bien la fertilidad de los suelos de la Región Pampeana ha sido clasificada, en una escala internacional, entre alta y muy alta (Sillampää, 1982), la gradual reducción en sus reservas de nutrientes, ha modificado esta situación. Estudios recientes destacan la mayor frecuencia de aparición de suelos deficientes en nitrógeno y en fósforo, fenómeno atribuido a la expansión del área agrícola, a la disminución en la proporción de suelos con pasturas perennes en rotación con cultivos anuales y al crecimiento en los niveles de producción (Hall *et al.* 1992). El nitrógeno es el único nutriente que es eficientemente incorporado desde la atmósfera al sistema productivo a través de la actividad biológica (fijación simbiótica en leguminosas). El resto de los elementos nutritivos, entre los que se encuentra el fósforo, son provistos por las reservas de los suelos y su incorporación en los sistemas productivos se logra a través del uso de fertilizantes y enmiendas. Entre estas, las aplicaciones de heces han sido descritas como prácticas efectivas para el mantenimiento e incremento en los niveles de nutrientes en los suelos, especialmente de fósforo (Halvorson *et al.* 1997). Por lo tanto, en sectores donde su distribución uniforme es factible constituyen un importante aporte para los requerimientos nutricionales de los cultivos.

El fósforo es un elemento muy poco móvil en el suelo y se encuentra mayormente en formas minerales pocas solubles y en la materia orgánica. Algunos autores han descrito relaciones lineales positivas entre los niveles extraídos con el método de Bray Kurtz 1 y los contenidos totales (Guertel *et al.* 1991). Por lo tanto, cambios en la fracción extractable pueden ser asociados a cambios en las reservas totales de este elemento.

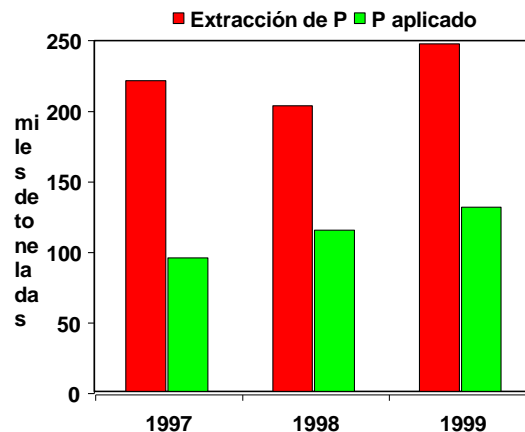
La frecuencia de suelos con potenciales deficiencias de fósforo en la región este de la provincia de La Pampa y en toda la Región Pampeana se ha incrementado en comparación con la extensión detectada en 1980 (Darwich, 1983; Darwich, 1994; Montoya *et al.* 1998). Evaluaciones recientes, según encuestas a laboratorios de suelos (Díaz-Zorita, datos no publicados) y otros estudios (Demmi *et al.* 1992; Echeverría y Ferrari, 1993), muestran la presencia de suelos potencialmente deficientes en este nutriente en la región subhúmeda bonaerense, en áreas reportadas tradicionalmente como moderadas a bien provistas en fósforo disponible. Según estos estudios, la frontera entre suelos deficitarios y bien provistos en este elemento se está desplazando hacia el oeste de la Región Pampeana (Fig. 8).

Fig. 8: Evolución de niveles de P extractable en la región pampeana



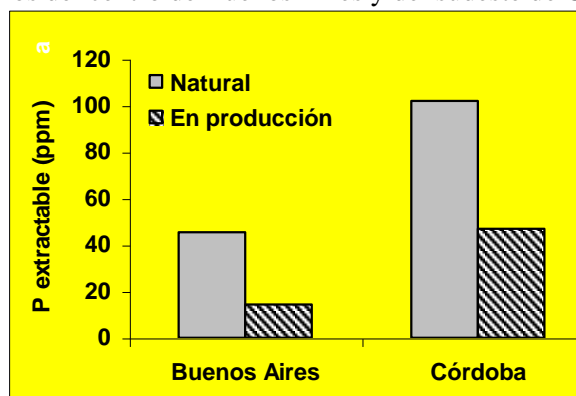
La principal causa de este proceso se debería a la continua extracción de nutrientes edáficos sin reposición, junto con pérdidas de suelo por empleo de sistemas no conservacionistas de manejo de los mismos. En la figura 9 se presenta el balance global de P en la región pampeana para los cultivos de maíz, girasol, soja y trigo estimado a partir de la diferencia entre los niveles extraídos (producción de grano x concentración media en los granos) y el uso de fertilizantes con P. En términos generales se destaca el aumento en los niveles de extracción, asociados tanto al aumento en los rendimientos de los cultivos de cosecha como el crecimiento en el área cultivada con soja, cultivo con alta exigencia en P. El uso de fertilizantes también es creciente pero no logra compensar el 50 % de los niveles extraídos de P, esto no quiere decir que la fertilización es indispensable en toda la región pampeana sino que corrobora el uso extractivo de la agricultura justificando en parte el decaimiento en los niveles de fertilidad de los suelos de la región pampeana.

Fig. 9: Balance global de P para cultivos de maíz, girasol, soja y trigo en la región pampeana



Ayub y Weir (1991) describen reducciones en más del 50 % del nivel disponible de fósforo en montes naturales del sudeste la provincia de Córdoba por la incorporación en agricultura continua durante más de 10 años. Resultados similares han sido observados en el centro de la provincia de Buenos Aires (Chacra Experimental de Belloq, datos no publicados) como consecuencia del mantenimiento, durante aproximadamente cincuenta años, de sistemas ganaderos sin aplicaciones de fertilizantes (Fig.10).

Fig. 10: Efecto del uso agropecuario sobre la disponibilidad de fósforo (BK 1) en la capa de 0 a 20 cm de suelos del centro de Buenos Aires y del sudeste de Córdoba



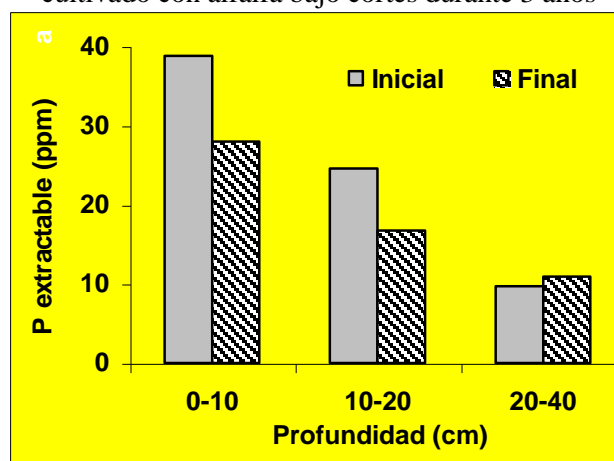
Resultados de evaluaciones del estado de fertilidad de los suelos en los modelos intensivos de producción demostrativos de la EEA INTA Gral. Villegas muestran que luego de 20 años de prácticas de producción de carne puras sobre pasturas los contenidos de fósforo disponible son significativamente inferiores a los observados en condiciones de producción mixta ganadero-agrícola. Los niveles de materia orgánica mostraron el comportamiento opuesto (Tabla 4). La reducción en contenidos de P es más evidente cuando se contabiliza su nivel acorde a los valores de densidad aparente de los suelos, 57.8 kg/ha y 64.5 kg/ha para sistemas ganaderos y ganadero-agrícolas respectivamente. La menor densidad aparente en el sistema ganadero es explicada fundamentalmente por la ocurrencia de mayores contenidos de materia orgánica que en el sistema ganadero-agrícola.

Tabla 4: Contenidos medios de materia orgánica (MO), P (Bray Kurtz 1), pH y densidad aparente (DA) en la capa superficial de suelos en 3 sistemas de producción representativos del oeste de Buenos Aires, Argentina. SPG = Sistema de producción ganadero; SPGA = Sistemas de producción ganadero-agrícola; SPAC = Sistema de producción agrícola continuo. Letras diferentes en sentido horizontal indican diferencias entre tratamientos (Tukey, 0.05)

	Natural	SPG	SPGA	SPAC
MO (g kg^{-1})	39.90 a	28.20 b	26.60 c	25.3 c
P (mg kg^{-1})	46.75 a	23.70 c	25.60 b	25.21 b
pH	6.55 a	5.82 b	6.08 ab	6.20 ab
DA (Mg m^{-3})	---	1.22 a	1.26 a	---

Las plantas absorben grandes cantidades de elementos nutritivos que son empleados para la formación de tejidos (forraje, grano, etc.). Si estos permanecen en el lugar, los elementos contenidos en los vegetales son restituidos al suelo después de su muerte. Las pérdidas de fertilidad se producen por la salida del establecimiento de cosechas (granos, heno, silos, etc.) y productos de origen animal (carne, leche, lana, heces, etc.). Por ejemplo, en la Fig.11 se observa que los niveles de fósforo extractable en la capa superficial de un suelo cultivado con alfalfa para cortes en Gral. Villegas (Bs.As.) se redujeron casi el 22 % luego de 3 campañas continuas de producción.

Fig. 11: Cambios en el nivel de fósforo extractable (Bray Kurtz 1) de un Hapludol típico cultivado con alfalfa bajo cortes durante 3 años



En la región pampeana, a partir de los resultados de faena de vacunos y del uso de fertilizantes en pasturas según la SAGPyA (www.sagpya.mecon.gov.ar) y el proyecto Fertilizar del INTA (www.fertilizar.org.ar), la exportación de P en productos ganaderos (28188 tn) sería aproximadamente un 12% superior a la fertilización con P en sistemas ganaderos (24707 tn). El desbalance es de menor magnitud que el descripto para productos agrícolas (García, 2001), pero en esta estimación debemos considerar que casi 66000 tn de P son cicladas a través de los animales quedando sujetas a traslados fuera del sitio de extracción por la pastura. En el caso de los cultivos agrícolas, la cantidad ciclada con los rastrojos es de menor proporción permaneciendo en el mismo sitio de extracción.

En la región noroeste bonaerense la producción media de carne sobre base de pasturas se estima en unos 250 kg/ha/año (R. Álvarez, com.pers) y menos del 50 % de las pasturas serían fertilizadas con fuentes fosfatadas empleándose en el ámbito regional una dosis media de 4.25 kg/ha de P (Díaz-Zorita y Barraco, inédito). A partir de esta información se deduce que en promedio para la región oeste bonaerense, la exportación de P en productos cárnicos es cubierta ampliamente por la estrategia media de fertilización, pero sólo el 85 % del P ciclado por los animales es compensado con el uso de fertilizantes. En esta misma región, los sistemas intensificados de producción de carne sobre base pastoril pueden alcanzar producciones medias de 400 kg/ha/año lográndose con la estrategia actual de fertilización cubrir la exportación del P pero no compensar los riesgos de traslados de fertilidad e induciendo a desbalances cercanos al 50 %. En este contexto, el manejo del pastoreo es el detonante sobre la evolución del nivel de fertilidad de los suelos al intervenir directamente sobre la distribución de las restituciones de las deyecciones en relación a los sitios de producción del forraje.

Dado que los sistemas agrícolas y ganaderos se encuentran conectados a través del ingreso de nutrientes en los fertilizantes o en los alimentos y el egreso en productos de carne o grano, la práctica de fertilización fosfatada es la única alternativa para el mejoramiento y la conservación uniforme de los niveles de fósforo de los suelos de la región pampeana. En la medida que la principal fuente de alimento para la producción de carne es la pastura, los pastoreos con altas cargas instantáneas permiten una mejor distribución de las restituciones pero no eliminan la reducción en la disponibilidad generada por el consumo del forraje y la transferencia por concentración en las heces. Basándose en este esquema, y según los niveles de extracción estimados para sistemas de producción característicos del noroeste bonaerense, se observa que la intensificación en la producción de carne conduce a niveles de pérdida de fósforo similares a los obtenidos por rotaciones agrícolas continuas. Este comportamiento es explicado más por la concentración y los traslados de fertilidad en las heces que inducidos por el aumento en la inmovilización y la extracción en los animales.

Las aplicaciones de fertilizantes con fósforo mejoran las condiciones de nutrición de las plantas y los excesos son retenidos en el suelo bajo diferentes formas de reserva siendo sus pérdidas de escasa magnitud y estrechamente vinculadas a procesos de erosión y pérdida de suelo no frecuentes en pasturas. Evidencias del uso intensivo de fuentes fosfatadas y el mejoramiento en la disponibilidad de este nutriente fueron reportadas en un relevamiento de suelos de la región sudeste bonaerense y en sectores localizados de la pampa ondulada. Cuando es factible, es deseable el incremento de los contenidos de fósforo de los suelos por encima de los niveles críticos (aproximadamente 16 a 25 ppm) y su mantenimiento a través de pequeñas aplicaciones de mantenimiento. Esta estrategia permite la optimización en los rendimientos potenciales de los cultivos y sus retornos económicos independientemente de otras condiciones ambientales (Halvorson et al. 1997).

COMENTARIOS FINALES

El ciclado de nutrientes en sistemas pastoriles ocurre mayormente en condiciones “abiertas” de transferencia entre compartimentos. A diferencia de los sistemas de producción de granos, las pérdidas de nutrientes en sistemas pastoriles son mayormente por traslados fuera de las pasturas con las heces y la orina. Estas deposiciones no son uniformes, tienden a localizarse en áreas no productivas (ej. callejones, salas de ordeño, etc.). Sistemas de pastoreo intensivo con alta carga instantánea contribuyen a mejorar la distribución de las deposiciones.

La reposición de las pérdidas de N de los sistemas con pasturas a base de leguminosas es mayormente lograda a través de la fijación biológica del N atmosférico. Normalmente, el balance de este elemento es positivo resultando en niveles residuales aprovechables por especies no leguminosas componentes de las pasturas y cultivos en rotación con las mismas.

Los aportes externos de P son fundamentalmente a partir de la aplicación de fertilizantes fosfatados y los balances de este nutriente mayormente negativos debido a los traslados de heces fuera de áreas de producción de forrajes. La tasa de decaimiento en los niveles de este nutriente sería proporcional a los niveles de producción y de mayor magnitud bajo condiciones de producción de leche o de carne con pastoreos con bajas cargas instantáneas y sitios de concentración de animales fuera del área de producción del forraje.

REFERENCIAS CONSULTADAS

Ayub, G. y Weir, E. 1991. Niveles de fósforo asimilable y otros nutrientes en suelos del sudoeste de la Pcia. De Córdoba. INTA, EEA Marcos Juárez. Informe Especial N°1, 11 p.

- Barrow, N. J. 1987. Return of nutrients by animals. In: Snaydon, R. W.(ed.), *Managed grasslands: analytical studies*. Elsevier, Holanda, 181-186
- Coffey, R.; Bowman, R.; Anderson, L.; Cocanougher, J.; Crist, B.; Fleming, R.; Henken, K.; Johnson, J.; Mitchell, R.; Overhults, D.; Pescatore, T.; Rasnake, M.; Samson, S.; Thom, B. 1999. Assessment of the potential for livestock and poultry manure to provide the nutrients removed by crops and forages in Kentucky. University of Kentucky, Cooperative Extension Service, IP-56, 18 pp.
- Darwich, N. A. 1983. Niveles de fósforo asimilable en suelos pampeanos. IDIA Enero-Abril: 409-412.
- Darwich, N. A. 1994. Los sistemas mixtos y la fertilidad de los suelos. In AACREA ed. Simposio Tecnológico, 2do. Buenos Aires, Argentina. 16 p.
- Demmi, M. A., Prieto, J. L., Vernizzi, A. y Gonzalez, C. 1992. Niveles de fósforo disponible en suelos agrícolas del sur de la provincia de Santa Fe. INTA, EEA Oliveros. Informe para Extensión N°61, s/p.
- Díaz-Zorita, M. 1997. Intensificación en la producción de carne y sostenibilidad en la Región Pampeana. In INTA ed. Congreso Nacional de Producción Intensiva de Carne, Primero. Actas. Buenos Aires - Córdoba, Argentina. pp. 221-235.
- Díaz-Zorita, M. y Davies, P. 1995. Cobertura vegetal y propiedades edáficas de pasturas perennes en la región noroeste bonaerense. Evaluación preliminar. In Asociación Argentina de Producción Animal ed. Reunión Lationamericana, XIV y Congreso Argentino, 19°. Memorias. Mar del Plata, Argentina. pp. 213-215.
- Díaz-Zorita, M. y M. V. Fernández-Canigia. 1998. Azufre y nitrógeno en la implantación de pasturas perennes en la región de la Pampa Arenosa. *Ciencia del Suelo* 16: 103-106.
- Díaz-Zorita, M., Duarte, G. y Fernández Canigia, M.V. 2000. La siembra directa y los sistemas mixtos de producción en el oeste de Buenos Aires. EEA INTA General Villegas, Publicación técnica 31, 18 pp.
- Díaz-Zorita, M., Duarte, G. y Grosso, G. 1998. Soil fertility distribution in livestock production systems with pastures directly grazed. In Precision Agriculture Conference, Proceedings. Minnesota, USA.
- Díaz-Zorita, M., Duarte, G. y Grove, J.H. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research (en prensa)*
- Echeverría, H. 1997. Impacto de los fertilizantes sobre el pH, fósforo disponible y materia orgánica de los suelos del sudeste bonaerense. *Visión rural* VI-26:39-40 y 49.
- Echeverría, H. y Ferrari, J. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. INTA, EEA Balcarce. *Boletín Técnico* N°112, 18 p.
- Fernández Canigia, M. V. 2001. Fijación biológica del nitrógeno en pasturas perennes. *Fertilizar* 26 (*en prensa*).
- Floate, M.J.S. 1987. Nitrogen cycling in managed grasslands. In: Snaydon, R. W.(ed.), *Managed grasslands: analytical studies*. Elsevier, Holanda, 163-172
- García, F.O. 2001. Balance de fósforo en suelos de la región pampeana. INPOFOS Informaciones agronómicas del Cono Sur 9: 1-3
- Gillingham, A. G. 1987. Phosphorus cycling in managed grasslands. In: Snaydon, R.W.(ed.), *Managed grasslands: analytical studies*, Elsevier, The Netherlands, 173-180
- Guertel, E. A., Eckert, D. J., Trina, S. J. y Logan, T. J. 1991. Differential phosphorus retention in soil profiles under no till crop production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 410-413.
- Hall, A. J., Rebella, C. M., Ghera, C. M. y Culot, J. P. 1992. Field-crop systems of the pampas. In: Pearson C. J. (ed.), *Field Crop Ecosystems*. Elsevier, Holanda, 413-450.
- Halvorson, A. D., Havlin, J. L. y Schlegel, A. J. 1997. Nutrient management for sustainable dryland farming systems. *Annals of Arid Zone* 36: 233-254.
- Hoglund, J. H. Y Brock, J. L. 1987. Nitrogen fixation in managed grasslands. In: Snaydon, R.W.(ed.), *Managed grasslands: analytical studies*, Elsevier, The Netherlands, 187-196
- Loewy, T. 1987. Rotación leguminosa-trigo y fertilidad nitrogenada del suelo. *Ciencia del Suelo* 5: 57-64
- Montoya, J., Bono, A, Suarez, A, Darwich, N y Babinec, F. 1998. Disminución de los contenidos de fósforo asimilable en los suelos del este de la provincia de La Pampa. *Ciencia del Suelo* .
- Puricelli, C. A. 1985. La agricultura rutinaria y la degradación del suelo en la Región Pampeana (sector: Provincia de Buenos Aires, Córdoba y La Pampa). *Rev. Arg. Prod. Animal* 4:33-48.
- Racca, R., D. Basigalup, E. Brenzoni, O. Bruno, C. Castell, D. Collino, J. Dardanelli, M. Díaz-Zorita, J. Duhalde, N. Gonzalez, W. Hansen, N. Heim, F. Laich, A. Lopez, O. Peralta, A. Peticari, A. Quadrelli, E. Rivero, N. Romero, R. Sereno. 1998. Alfalfa symbiotic dinitrogen fixation in the Argentine Pampean Region. Thirty-sixth North America Adfalfa Improvement Conference (NAAIC), p. 93
- Sillampää, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils. A global study. *FAO Soils bulletin* N° 48, 444 p.
- Suero, E. y Garay, A.E. 1978. Estado estructural del horizonte superficial de suelos Brunizem del S.E. Bonaerense. II. Modificaciones producidas por el manejo. In Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo ed. Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, VIII. Buenos Aires, Argentina. pp. 7-8.
- Zaniboni, M. y Mendez, D. 1997. Las pasturas perennes en los sistemas productivos del noroeste bonaerense. INTA, EEA Gral.Villegas. "Utilización de recursos forrajeros". Jornada. Gral Villegas, Argentina.

[Volver a: Suelos ganaderos](#)