

Balance aparente de N, P y K en función de la intensidad de uso del suelo por la agricultura

NOTA TÉCNICA

Oswaldo Ernst*, Guillermo Siri*, Pablo Ackermann**, Nicolás Gasparri**

INTRODUCCIÓN

El balance aparente de nutrientes es la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo. En general, se consideran para la capa de suelo explorada por las raíces, en períodos anuales. Los balances pueden resultar deficitarios, neutros o acumulativos generándose situaciones de pérdida, equilibrio o ganancia de nutrientes en el suelo, respectivamente (Ciampitti y García, 2008). El balance es “aparente”, lo que implica que no consideran transformaciones de nutrientes en el sistema suelo-planta las pérdidas gaseosas, por lavado o erosión, ni ingresos por deposiciones atmosféricas, por lo que posiblemente subestime el resultado en muchas condiciones.

Los ingresos de nutrientes al suelo están constituidos por los aportados por fertilizantes, abonos orgánicos (incluyendo residuos de cultivos no generados en el misma chacra) y en el caso del nitrógeno (N), por la fijación cuando se incorpora leguminosas. El concepto se amplía en el tiempo cuando se considera una rotación determinada, que incluye más de un cultivo o un ciclo agrícola. Dados los beneficios que resultan de la rotación de cultivos, es de importancia considerar un ciclo de rotación y no simplemente un cultivo al definir los balances de nutrientes.

Los egresos de nutrientes pueden ser estimados a partir de las concentraciones promedio en granos y forrajes cosechados y los rendimientos de los cultivos. Los ingresos de nutrientes se estiman a partir de las cantidades de fertilizantes o abonos orgánicos aplicados (y su concentración en nutrientes) y las cantidades de nitrógeno fijado vía simbiótica, a partir de la producción de biomasa de cada especie forrajera. El aporte de nutrientes de los residuos de cultivos realizados en el mismo sitio, se considera un reciclaje de nutrientes dentro del mismo sistema suelo y por lo tanto no se incluye en el balance.

Si bien el balance resulta relativamente fácil de hacer a partir de registros de entradas de fertilizantes, granos cosechados y producto animal, la concentra-

ción de nutrientes en los productos se estima a partir de datos de bibliografía que resumen situaciones de disponibilidad de nutrientes en suelo y rendimientos muy dispares. La extracción de nutrientes varía considerablemente dependiendo de la especie de cultivo que se esté considerando, del aporte del suelo y del rendimiento logrado, por lo que es un valor promedio tomado como guía, que no necesariamente refleja la realidad de cada chacra.

Para interpretar el resultado es necesario considerar que:

- Un balance negativo de una chacra o sistema que tiene niveles de fertilidad superiores a los valores críticos de disponibilidad de nutrientes no debe ser considerado necesariamente como “malo”. Si bien, un balance negativo podría estar indicando un agotamiento progresivo de las reservas de nutrientes en el suelo, no siempre los cultivos responden al agregado de nutrientes en dichos suelos. Esto podría ser explicado porque dichos suelos pueden estar bien dotados en cuanto su fertilidad natural (NLWRA, 2001).
- Si se mantiene el balance negativo, implica pérdida de fertilidad que afectará la producción cuando se llegue a niveles de aporte por debajo de las necesidades del cultivo.
- Balances de nutrientes neutros indican que el stock del nutriente en el suelo no varió, pero la fertilidad del mismo podría ser limitante para el logro de mayores rendimientos.
- Balance positivos pueden implicar “construcción de fertilidad” en suelos con bajo suministro de nutrientes o riesgos de contaminación en suelos fértiles.

Estas consideraciones han llevado desarrollar el concepto de “suelo saturado en fertilidad” (SSF) como aquel que suministra exactamente la cantidad de nutrientes necesarias para el logro del rendimiento potencial definido por el cultivo/cultivar (componente genético), radiación y temperatura (componente ambiental). Como en condiciones de producción el rendimiento alcanzable está limitado principalmente por el suministro de agua, el objetivo es mantener la “fertilidad ideal del suelo”, (FIS) definida como aquella que suministra exactamente la cantidad de nutrientes necesarias para el logro del rendimiento objetivo planteado en el mediano plazo. En situaciones de

* Ings. Agrs. Dpto. Producción Vegetal, EEMAC.

** Estudiantes Facultad de Agronomía.

suministro de un nutriente en particular menor al establecido como FIS, implica la necesidad de implementar estrategias de fertilización que resulten en balance positivos; entre FIS y SSF, el objetivo es un balance neutro. Un balance positivo en una condición mayor a SSF, representa un riesgo de contaminación. El desarrollo del concepto y propuesta de implementación pueden consultarse en Jansen y Willigen (2006).

En el presente trabajo se discute el balance de nutrientes generado en el período 2001-2011, por tres sistemas agrícolas evaluados en un experimento de largo plazo instalado en 1994 en la EEMAC, sobre suelos de la Unidad San Manuel. El experimento fue diseñado para evaluar el efecto de la proporción de tiempo en que el suelo está ocupado por la fase agrí-

cola de la rotación y se aplican los criterios de fertilización propuestos para cada cultivo surgido de la información nacional disponible. A priori esto significa corregir con fertilización la disponibilidad de nutrientes en base a criterios de suficiencia y no de balance por lo que si bien está implícito el concepto de FIS, no se establece un rendimiento objetivo.

Los tratamientos corresponden a una combinación de una misma secuencia de cultivos realizada sin laboreo, con diferente proporción del tiempo de la rotación ocupado por pasturas, más un tratamiento definido como “testigo tecnológico” que corresponde a la misma secuencia de cultivos realizada con laboreo en rotación con pasturas en una relación objetivo de 50% tiempo del asignado a cada fase. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Manejo del suelo y relación de tiempo en cultivo/tiempo en pastura de los tratamientos evaluados.

Manejo del suelo		Nomenclatura	Rotación años	Relación cultivo/pastura
Laboreo	rotación larga con	RL-LC	7	50/50
	laboreo			
No laboreo	rotación larga	RL-SD	7	50/50
No laboreo	rotación corta	RC-SD	5	70/30
No laboreo	agricultura continua	AC	3	100

Cada parcela del experimento es de 500 m² (10m por 50m) y todas las fases de cada rotación están presentes en cada año, conformando repeticiones desfasadas en el tiempo. El número de repeticiones de cada tratamiento es función del tiempo total ocupado por la rotación, por lo que son tres para AC, cinco para RC-SD y siete para RL-SD. El testigo tecnológico (RL-LC) cuya rotación es de siete años, tiene sólo tres repeticiones en el tiempo.

La secuencia de cultivos es la misma para todos los tratamientos y está compuesta por doble cultivo anual trigo/soja seguido por cebada/sorgo en los dos primeros años, y, en el tercer año no hay cultivo de invierno y se siembra girasol de primera (girasol de estación completa).

En los tratamientos RL-LC, RL-SD y RC-SD, luego de girasol se siembra trigo asociado con pradera, por lo que existe una superposición de cultivo/pastura durante un semestre. Las composición botánica de las praderas es de *Festuca andurinaea* L., *Trifolium repens* L. y *Lotus corniculatus* L. sembrándose 10, 2 y 6 kg/ha de semillas respectivamente, para los tratamientos RL-SD y RL-LC, y una mezcla de *Cichorium intibus* y *Trifolium pratense* L. (4 y 6 kg/ha de semilla

a la siembra) para el tratamiento RC-SD.

La fertilización con N y fósforo (P) fue realizada según los niveles críticos de cada nutriente para cada cultivo. En tanto las aplicaciones de fitosanitarios fueron realizadas en función de lo necesario en cada caso en cada año. Las pasturas en general no fueron refertilizadas, por lo que su producción se realizó con el efecto residual de la fertilización de los cultivos, incluyendo la de los de trigo asociados.

Las pasturas fueron pastoreadas entre cinco y siete veces por año con 15 a 20 novillos de aproximadamente 350 kg de peso vivo, que permanecieron dos o tres días en el área de pasturas del experimento (3000 m²). El ingreso de los animales fue definido por una disponibilidad mínima de 2000 kg ha⁻¹ de materia seca.

Durante el período no hubo diferencias significativas entre tratamientos en el rendimiento medio de trigo, cebada, soja de segunda ni sorgo de segunda (3584, 2876, 1814 y 4764 kg ha⁻¹ respectivamente). En girasol, el rendimiento fue significativamente mayor en RL-LC (p<0,05) (2635 contra 1885 kg ha⁻¹ para RL-LC y el promedio de los tratamientos sin laboreo, respectivamente).

La producción media anual de las pasturas difirió entre duración y edades. El promedio de producción del 1er año (consociado) más 2do año fue de 12710 y 9900 kg ha⁻¹ para praderas largas y cortas, respectivamente, y sólo para praderas largas, la producción promedio del 3er y 4to año fue 6900 y 5800 kg ha⁻¹, respectivamente.

BALANCE APARENTE DE NITRÓGENO

Existieron diferencias significativas en el balance aparente de N acumulado, resultando positivas sólo para las rotaciones largas. Las diferencias se explican por la extracción, ya que el ingreso de N fijado biológicamente

compensó las mayores entradas generadas por agregado de N como fertilizante en AC (Cuadro 2).

La FBN resultaría mayor cuanto mayor es el tiempo ocupado por pastura en la rotación y por esta razón RC-SD manifestó un comportamiento intermedio entre RL y AC. Las rotaciones largas (RL-SD y RL-LC) promediaron un ingreso estimado de 222 kg ha⁻¹ contra 161 kg ha⁻¹ de RC. Sin embargo, anualizando el ingreso, esto representa 65 y 107 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N fijado en RL y RC, respectivamente. Esto implica que la FBN anualizada en el tiempo ocupado por pastura fue mayor en RC-SD, producto de que las pasturas de estas rotaciones son básicamente de 2do año. En tanto, en RL el aporte de las leguminosas en la produc-

Cuadro 2: Balance aparente de N acumulado y sus componentes: fijación biológica de N, N agregado como fertilizante, entrada total de N, N extraído en productos según los tratamientos agricultura continua (AC), rotación corta con pasturas (RC), rotación larga con pasturas (RL) y rotación larga con pasturas con laboreo convencional (R-LC) en kg/ha. (Período 2001 - 2011)

Tratamiento	N FBN	N fertilizante	N entrada	N extraído	Balance de N acumulado
AC	0	485	485	842	-358 b
RC	161	390	551	688	-137 ab
RL	200	282	482	449	33 a
R-LC	243	315	558	435	123 a

Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias entre tratamientos (Tukey 0,05).

ción de forraje del 3er año y parte del 4to año de vida fue relativamente bajo por pérdida de leguminosas.

Por otra parte, el N agregado como fertilizante fue mayor ($p < 0,08$) en AC, lo que compensó el ingreso por FBN de la rotaciones con pasturas. Es decir que siguiendo el criterio de fertilizar en función de niveles críticos de suficiencia por cultivo, se logró equiparar las entradas totales de N al sistema AC. Sin embargo, el balance aparente resultó negativo, producto de las mayores extracciones de los productos agrícolas de manera continuada en el período. El 39% de la extracción de N fue explicado por la relación pastura/cultivo. En los tratamientos donde la proporción del tiempo en que el suelo está ocupado por pasturas fue mayor, menor fue la fase de cultivos en el período, por lo que se produjo una menor extracción de N. De esta forma los tratamientos de RL-SD y RL-LC en los que el tiempo de pasturas ocupa el 50% del tiempo de la rotación tuvieron menor extracción en comparación a la AC. En cuanto a la RC, con un 33% del tiempo ocupado por pasturas, obtuvo un comportamien-

to intermedio sin presentar diferencias significativas con el resto de los tratamientos. Si se consideran las extracciones promedio estimadas por la producción de carne durante el pastoreo las mismas serían 34 kg ha⁻¹, 31 kg ha⁻¹ y 19 kg ha⁻¹ para R-LC, RL-SD, RC-SD, respectivamente durante todo el período experimental. Esto implica que no se producirían grandes cambios en los valores finales del balance.

En el experimento todos los componentes de la rotación están presentes en un mismo año por lo que, como ocurre en sistemas agrícolas ganaderos, en una fecha fija es posible evaluar lo que sucede en la rotación (Figura 1).

Todas las parcelas en AC presentaron balance negativo y con escasa variación entre ellas. En tanto, en los sistemas que rotan con pasturas, mientras que el balance se hizo negativo hacia el final de la fase agrícola (mínimos), se volvió positivo hacia final de la fase pastura (máximo). En estos sistemas, el valor medio representaría el punto de equilibrio del sistema.

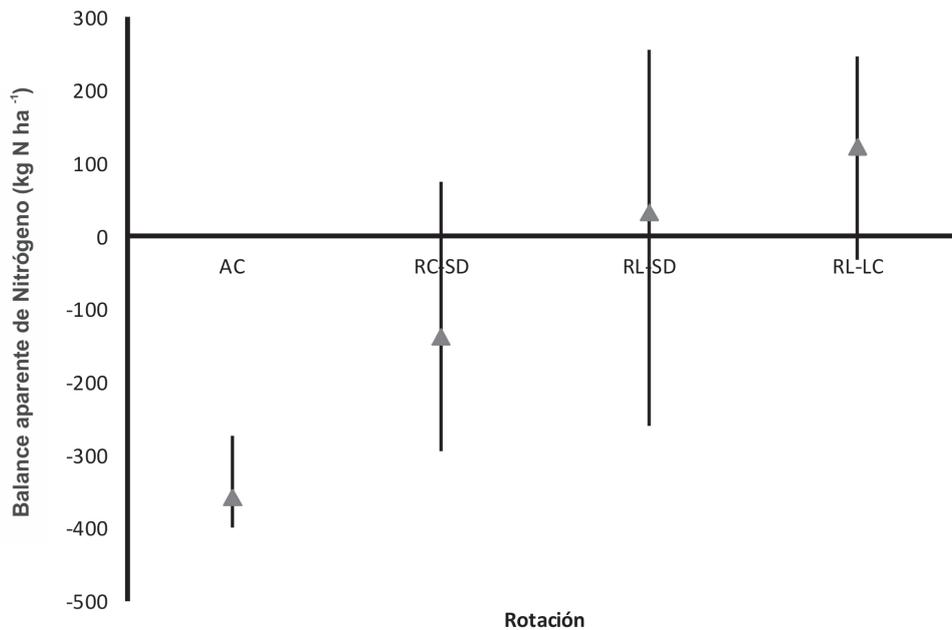


Figura 1. Balance medio acumulado de nitrógeno, mínimo y máximo cuantificado a abril 2011 según los tratamientos agricultura continua (AC), rotación corta con pasturas (RC-SD), rotación larga con pasturas (RL-SD) y rotación larga con pasturas con laboreo convencional (RL-LC) en kg ha⁻¹.

No se encontró relación entre los resultados de balance aparente de N y la cantidad de nitrógeno en suelo (NT) en los primeros 20 cm del suelo. Mientras que en AC se produjeron los balances aparente de N más negativos para el período 2001-2010, no se cuantificó una reducción significativa en la concentración de NT

en el suelo. Sin embargo, sí existió asociación entre el balance aparente y la cantidad de N ingresado como fertilizante, por lo que sería un indicador útil para estimar el déficit de N que será necesario reponer en el mediano plazo para mantener el nivel productivo del sistema (Figura 2).

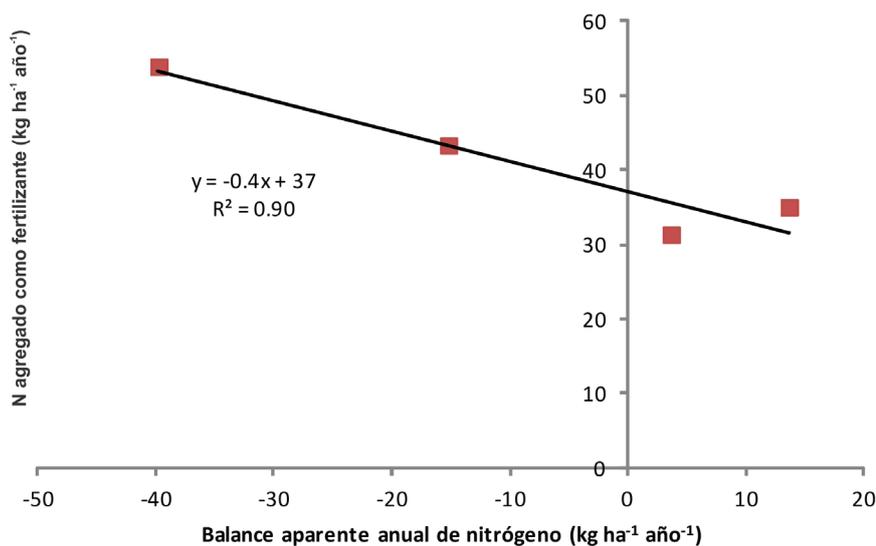


Figura 2. Relación entre nitrógeno agregado como fertilizante a los cultivos y el balance aparente anual de nitrógeno (EEMAC, período 2001-2010).

Los tratamientos con balance aparente neutro determinaron una media de fertilización nitrogenada anual de 37 kg ha⁻¹ año⁻¹, situación que sólo se logró con tratamientos que incluyeron pasturas de larga duración en la rotación. Los sistemas agrícolas puros (AC) y con rotación corta (RC-SD) determinaron 0,4 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno como fertilizante adicional por cada kg ha⁻¹ de desbalance anual de la rotación. Resultados similares fueron reportados por Ernst y Siri-Prieto (2009) quienes determinaron un incremento anual de 4 kg ha⁻¹Mg⁻¹ de grano producido en sistemas agrícolas puros con relación a sistemas que

rotan con pasturas pluri-anales de mezclas de gramíneas perennes con leguminosas.

BALANCE APARENTE DE FÓSFORO

Únicamente existieron diferencias entre los tratamientos en la extracción de P; esto se debe a que se encuentra relacionado a la producción agrícola por lo que en los tratamientos que incluyeron rotaciones con pasturas la extracción fue menor.

Cuadro 3. Balance aparente acumulado de P y sus componentes: entrada de P, P extraído según los tratamientos agricultura continua (AC), rotación corta con pasturas (RC), rotación larga con pasturas (RL) y rotación larga con pasturas con laboreo convencional (R-LC) en kg ha⁻¹. (Período 2001 - 2011)

Tratamiento	P entrada acumulado	P extracción acumulado	Balance acumulado P
AC	101	168	-67 b
RC	100	134	-35 ab
RL	75	89	-14 a
R-LC	72	91	-19 a

Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias entre tratamientos (Tukey 0,05).

El balance aparente acumulado de P se relaciona en un 95% a la relación pastura/cultivo real de cada parcela. De esta manera, cuanto mayor fue la duración de la pasturas menor fue la extracción de P en del sistema (Figura 3a).

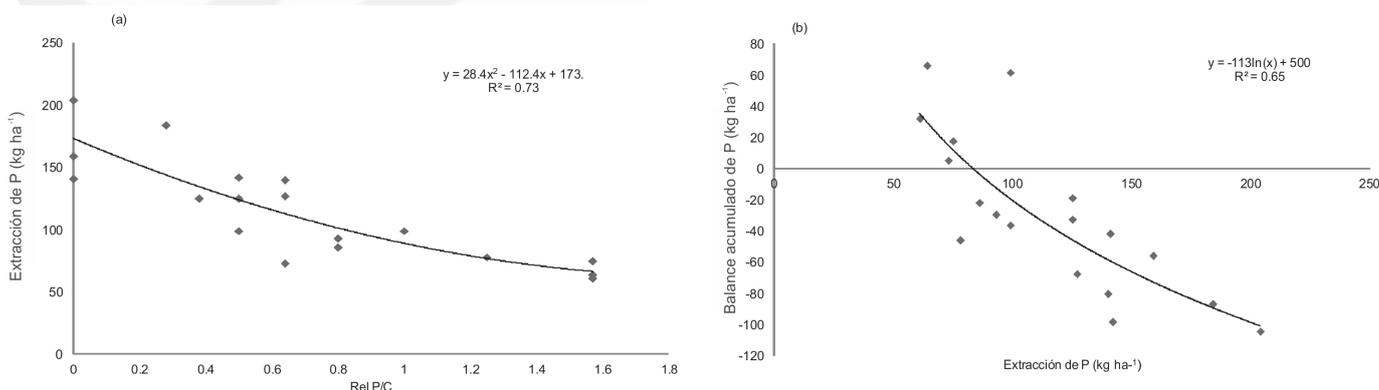


Figura 3a. Extracción de P (kg P/ha) según la relación tiempo en pasturas/tiempo en cultivo de cada parcela (Rel P/C).

Figura 3b. Balance aparente acumulado de P (kg ha⁻¹) en relación a la extracción (kg ha⁻¹).

Cuanto mayor fue la extracción registrada en las parcelas más negativo resultó el balance aparente acumulado (Figura 3b). Puede establecerse que el balance aparente está correlacionado con la extracción, sin embargo la fertilización no está de acuerdo con la extracción realizada por los cultivos. A pesar de que la extracción se correlacionó significativamente con el balance aparente acumulado, no se encontró relación entre este último y la disponibilidad de P en el suelo (Bray 1) (datos no presentados).

Relacionando el balance medio anual, de cada rotación, con la cantidad de P agregado como fertilizante, utilizando el nivel crítico de suficiencia en el suelo durante la fase cultivo, un balance neutro se asociaría a una fertilización promedio anual de 8 kg ha⁻¹ año⁻¹ de P en la fase cultivos de una rotación cultivo-pastura. El sistema de AC y RC-SD, que determinaron un balance aparente negativo de P, implicaría una necesidad anual de 0,5 kg ha⁻¹ de P incremental por cada kg ha⁻¹ año⁻¹ de desbalance (Figura 4).

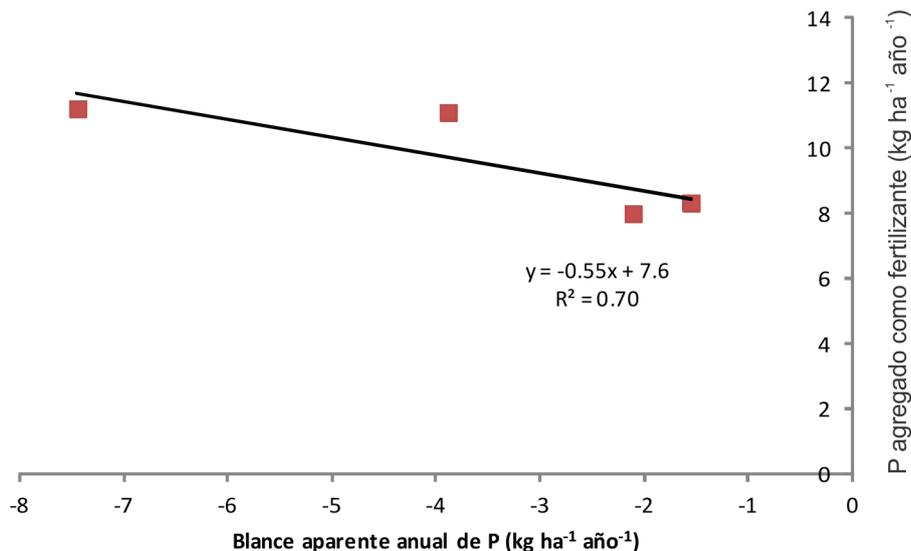


Figura 4. Relación entre fósforo agregado como fertilizante a los cultivos y el balance aparente anual de fósforo (EEMAC, período 2001-2010).

Al igual que con N, si bien el balance aparente de P no se ajusta con la disponibilidad de P (Bray 1) en el suelo, sería un indicador factible de utilizar para contemplar las necesidades incrementales de fertilización con P en función de la extracción realizada en productos.

BALANCE APARENTE DE POTASIO

Como era de esperar, la extracción de K tendió a ser mayor en AC ($p < 0,07$), Como el nivel inicial del suelo fue 0,78 meq/100 g de suelo, ningún tratamiento recibió fertilización con K, por lo que el único componente del balance es la extracción. (Cuadro 4).

Si se tuvieran en cuenta las salidas de K generadas por la producción animal las mismas serían 1,9 kg ha⁻¹, 1,7 kg ha⁻¹ y 1,1 kg ha⁻¹ para RL-LC, RL-SD y RC-SD, respectivamente, lo que no implicaría cambios relevantes en el resultado final del balance de K de los sistemas con que rotan con pasturas.

Cuadro 4. Potasio extraído según los tratamientos agricultura continua (AC), rotación corta con pasturas (RC), rotación larga con pasturas (RL) y rotación larga con pasturas con laboreo convencional (R-LC) en kg ha⁻¹. (Período 2001 - 2011)

Tratamiento	K extraído acumulado
AC	244 a
RC	202 ab
RL	133 b
R-LC	112 b

Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias entre tratamientos (Tukey 0,1).

El cambio en el K intercambiable en los primeros 10cm del perfil entre 2001 y 2011 se asoció con la extracción del nutriente en los productos (Figura 5).

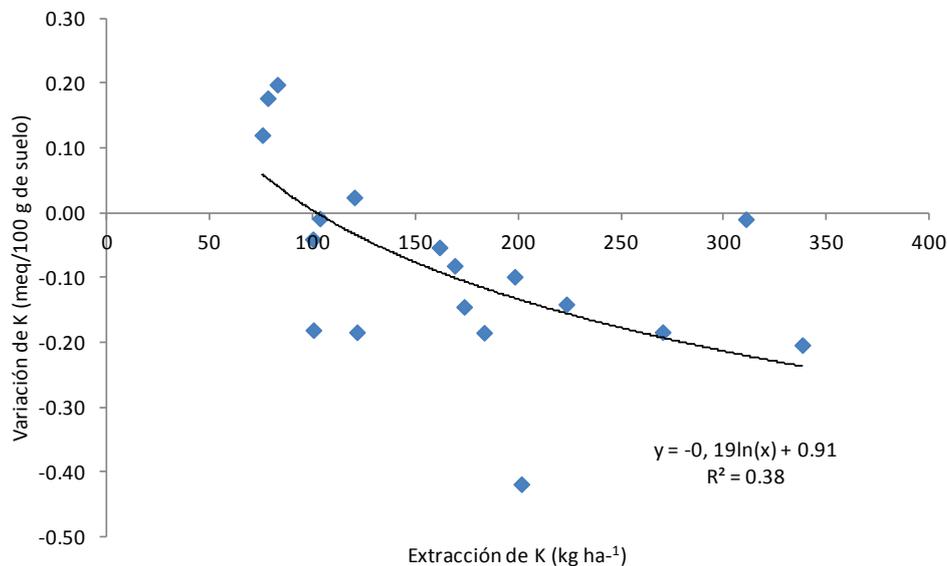


Figura 5. Relación entre la variación de potasio (meq/100g) y la extracción (kg ha⁻¹) en los primeros 10 cm el perfil de suelo.

En algunas situaciones se cuantificaron ganancias aparentes o cuasi neutras en K intercambiable en el suelo, lo que no puede explicarse por fertilización. Estas corresponden mayoritariamente a pasturas al momento del muestreo 2011. Es probable que la explicación radique en muestras tomadas sobre algún sector contaminado con estiércol vacuno como resultado del pastoreo.

CONSIDERACIONES FINALES

El balance aparente acumulado de N resultó positivo en los tratamientos RL-LC y RL-SD (123 y 33 kg ha⁻¹, respectivamente) y negativo en los tratamientos RC-SD y AC (-157 y -358 kg ha⁻¹). Las diferencias generadas en el balance aparente se explicaron por las diferencias en los kilogramos de N extraídos, ya las entradas por agregado de N como fertilizante, compensaron lo fijado biológicamente en los tratamientos con pasturas. Si bien la proporción de tiempo en que el suelo está ocupado por pasturas en la rotación, explica las entradas por fijación simbiótica, no implica

que la duración de las pasturas sea la variable relevante. En RC-SD, la mayor velocidad de rotación, asociado a que la mayoría del tiempo la pastura es de 2do año, permite fijar más N por unidad de tiempo que en RL. En el caso de P, el resultado del balance acumulado también resultó negativo al aumentar la participación relativa de la agricultura en la rotación. En ambos macronutrientes, si bien el balance no se asoció con cambios en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, sería la causa del incremento en las cantidades anuales de fertilizante a agregar, que resultan de aplicar los actuales criterios de fertilización. En ambos casos, la definición de la fertilización por niveles de suficiencia en cada cultivo estaría siendo sensible a los cambios impuestos en el sistema de producción. En el caso de potasio, al no existir fertilización los balances resultaron negativos y definidos por la extracción. En este caso, el K intercambiable se redujo entre 2001 y 2011 pero, utilizando el concepto de FIS, todavía es posible admitir balances negativos en estos suelos. Sin embargo, la tendencia marca la necesidad de monitorear su evolución.

BIBLIOGRAFÍA

- CIAMPITTI, I.; GARCÍA, F. 2008. Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. Revista Horizonte A. 4 (18): 22-28.
- ERNST, O.; SIRI PRIETO, G. 2009. Manejo del suelo y rotación con pasturas: efecto sobre rendimiento de cultivos, su variabilidad y el uso de insumos. In: Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. pp: 125-140.
- JANSSEN, B. H.; DE WILLIGEN, P. 2006. Ideal and saturated soil fertility as bench marks in nutrient management: 1. Outline of the framework. Agriculture, Ecosystems and Environment 116:143-146.
- NLWRAP (National Land and Water Resources Audit Project). 2001. Nutrient balance in regional farming systems and soil nutrient status. Canberra, Commonwealth Government of Australia. 101 p.



ir a sumario