

DINÁMICA DE LA LIBERACIÓN Y FIJACIÓN DE POTASIO EN EL SUELO

Marta Elvira Conti

Cátedra de Edafología - Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires

Av. San Martín 4453 – (1017) Buenos Aires – Argentina

conti@mail.agro.uba.ar

Importancia del potasio en la nutrición vegetal

El potasio (K) es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivos. Los vegetales necesitan cantidades elevadas de este nutriente siendo semejante al requerimiento de nitrógeno (Mengel y Kirkby, 1987). Se lo encuentra en todos sus órganos movilizándose fácilmente de una parte a otra de la planta. El K cumple un rol importante en la activación de un número de enzimas (conociéndose más de 60 activadas por este catión), que actúan en diversos procesos metabólicos tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos; también tiene incidencia en el balance de agua y en el crecimiento meristemático (Mengel y Kirby, 1987). Al participar de estos procesos metabólicos el K actúa favoreciendo el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos.

Las plantas obtienen el K del suelo que proviene de la meteorización de los minerales, de la mineralización de los residuos orgánicos o el que proviene de los abonos y fertilizantes. Los procesos pedogenéticos actúan sobre los materiales presentes en el suelo y producen en mayor o menor medida la disponibilidad del nutriente.

El Potasio del Suelo. Formas, Ciclo y Dinámica

El contenido de K en la litosfera es del orden del 1.58%, pero existen variaciones según la clase de rocas presentes. En los suelos, el contenido de K está estrechamente relacionado con el tipo de material parental y la pedogénesis (Mengel y Rahmatullah, 1994).

Varias investigaciones confirmaron que el sistema agrícola no tiene otra vía de ingreso natural para el balance de K que la reposición primaria proveniente de la liberación de los minerales primarios y secundarios, siendo preponderante la participación de la fracción arcilla. Los minerales arcillosos son la fuente principal de K en el suelo (Sardi y Debreczeni, 1992; Buhman, 1993).

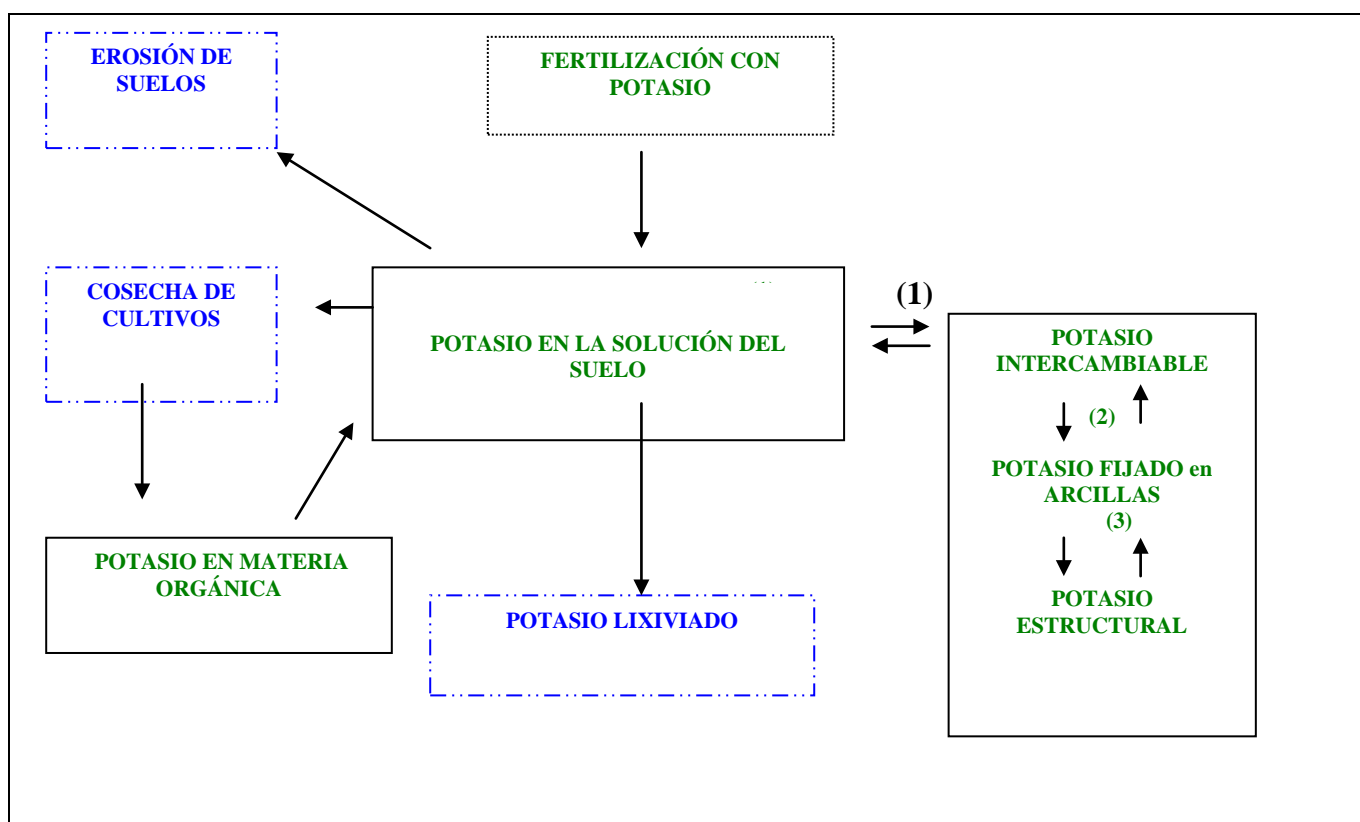
Los análisis químicos muestran que el contenido de K total del suelo no es un índice de fertilidad para los cultivos y que los suelos contienen K en diferentes formas. Una parte extraíble por reactivos muy suaves, tales como el agua o soluciones salinas diluidas; otra parte puede extraerse solamente con reactivos fuertes tales como ácido nítrico hirviendo. Numerosas investigaciones demostraron que estas formas extremas difieren en la facilidad con las que las plantas pueden extraerlas.

Ciclo del potasio

La Figura 1 muestra las formas más importantes de K en el suelo, y los procesos que las relacionan.

Potasio en la solución de suelo

El K de la solución de suelo está inmediatamente disponible y puede ser absorbido por las plantas en forma inmediata, pero las cantidades presentes son muy pequeñas, apenas una mínima porción del K total del suelo se encuentra en esta forma. Las plantas en crecimiento rápidamente extraen el K de la solución del suelo, pero a medida que el K es absorbido y extraído, su concentración es renovada y restituida inmediatamente por la cesión de formas menos fácilmente accesibles ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo. El proceso de adsorción-desorción es el que repone y equilibra la concentración de K de la solución del suelo.



Referencias

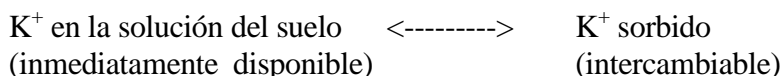
RESERVAS
PÉRDIDAS
GANANCIAS

- (1) = Adsorción - Desorción
 (2) = Fijación - Liberación
 (3) = Cristalización - Meteorización

Figura 1. Ciclo del Potasio en el Suelo
 Adaptado de Goulding (1987)

El Potasio intercambiable

Es la forma iónica del potasio (K^+) unido electrostáticamente a los materiales que componen la fase sólida coloidal mineral y orgánica. A medida que la concentración del K de la solución desciende, el K adsorbido es liberado a la solución del suelo. A la inversa, si la concentración de K de la solución del suelo aumenta por la aplicación de fertilizantes potásicos, parte de éste dejará la solución y se unirá electrostáticamente al material coloidal de la fase sólida. Existe un equilibrio entre las dos fracciones que puede ser representado por (1) en la Figura 1. El proceso es instantáneo:

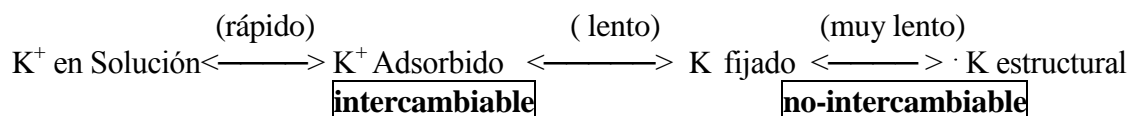


El K de la solución más el intercambiable, es comúnmente denominado K "disponible" y medido en los análisis convencionales para evaluar la fertilidad del suelo.

El Potasio de reserva

Existen formas de K que están fuertemente unidas a la fase sólida mineral, las cuales se denominan "K fijado" y "K estructural". Ambas constituyen el K de reserva o de reposición de los suelos. El K fijado es el que se ubica en el espacio hexagonal de las láminas de silicio y el K estructural que es el que está químicamente combinado con los elementos en la estructura de los minerales del suelo. Ambas formas son denominadas no-intercambiables.

Se produce un equilibrio entre el K intercambiable y estas formas no-intercambiables. El proceso para alcanzar el estado de equilibrio es mucho más lento que el de K de la solución del suelo-K intercambiable. El mecanismo de reposición y equilibrio entre las formas, se muestra en la Figura 1 con los números (2) y (3):



La fuente inmediata de K para las plantas es el que está disuelto en la solución del suelo; la reposición que mantiene su nivel estable es en primer lugar, la forma intercambiable y luego el K de reserva. El suministro a la planta durante un período determinado dependerá de la cantidad de K de cada fuente y de la velocidad con que se establece la reposición y el equilibrio entre las fuentes. La cantidad de K en la solución del suelo es siempre baja, el K intercambiable, mucho más abundante, restablece rápidamente la concentración en la solución. El K no intercambiable, fundamentalmente el fijado, es la fracción que regula el abastecimiento al K disponible del sistema en períodos de alta demanda.

La velocidad de reposición del potasio

La velocidad a la cual el K se vuelve disponible para las raíces es afectada por la cantidad de intercambiable, no intercambiable y por la velocidad de movimiento del K a través del suelo. A medida que la raíz absorbe K, el intercambiable próximo a las raíces disminuirá ó se agotará. Al disminuir la concentración de K intercambiable, éste se moverá desde zonas más enriquecidas y distantes de la raíz

hasta restablecer nuevamente el equilibrio. La velocidad con que se moviliza o difunde el K, dependerá de los materiales constituyentes del suelo y las condiciones ambientales, siendo más alta en suelos húmedos.

Las Arcillas

La reserva de K intercambiable y no-intercambiable depende fundamentalmente de la cantidad y calidad de arcillas presentes en el suelo. El término arcilla se refiere a las partículas minerales más pequeñas del suelo (menos de 2 micrones de diámetro). Se forman en el proceso de pedogénesis a partir de las alteraciones químicas de los minerales de las rocas que originan los suelos. Las arcillas son cristalinas y están formadas por capas en arreglos laminares de varios elementos químicos, fundamentalmente el oxígeno, el silicio y el aluminio en forma de capas de tetraedros de silicio y de octaedros de aluminio.

Los iones potasio (K^+) se presentan en distintas posiciones en las arcillas (Figura 2). Pueden ser mantenidos electrostáticamente por las cargas eléctricas negativas situadas en la superficie o en los bordes de las láminas. La fuerza con que los iones K son mantenidos, varía con el tipo de arcilla y la posición del ion en la misma. Las posiciones planares de cambio (p) no son lugares de enlace específico para K^+ , las posiciones de borde (e) son más selectivas y las interlaminares (i) presentan la mayor selectividad para este catión.

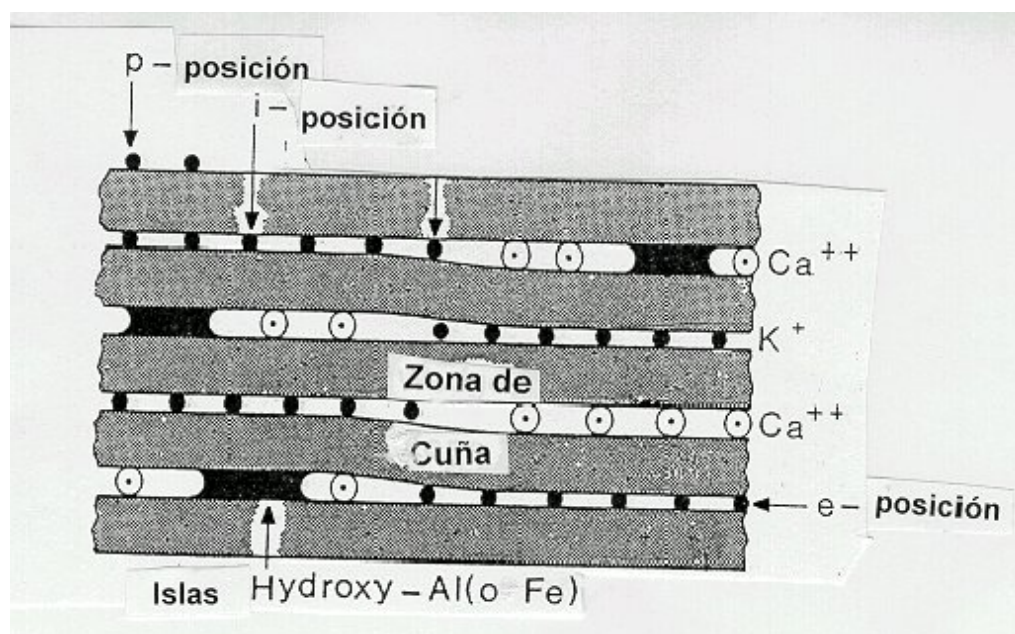


Figura 2. Modelo de arcilla expansible con las posiciones p, e, i de iones potasio (Rich, 1968).

Cuanto más débilmente estén retenidos, más fácilmente serán "intercambiables" y podrán ser liberados a la solución de suelo. La dinámica de las condiciones en el suelo puede provocar que los iones K que están mantenidos fuertemente entre las capas de arcilla (fijado), se liberen al separarse las mismas por ensanchamiento y expansión. De esta manera, estos K pueden ser liberados y equilibrar a los intercambiables y a los de la solución del suelo. También puede pasar que al penetrar los iones K^+ en el espacio interlaminares, este cierre nuevamente las laminillas, dejando así los iones en una condición difícilmente accesible, llamada K fijado.

Existen muchos tipos diferentes de arcillas, pero en general pueden definirse cuatro grupos que muestran diferencias importantes con respecto al K. Los tres primeros grupos son cristalinas- laminares y el último es no cristalino o paracristalino.

El primer grupo, mineral **caolinítico** (bilaminar 1:1, no expandente), puede adsorber K solamente en su superficie y en sus bordes rotos o quebrados, ellos no adsorben K con mucha fuerza. Los minerales caoliníticos no tienen posiciones de cambio interlaminares para sorber K y además tienen una reducida capacidad de cambio, por lo tanto contienen muy poco K intercambiable, comportándose casi como la arena o la materia orgánica en lo referente a la dinámica de este nutriente. Si bien no fijan K, como tampoco lo retienen, son muy sensibles a las pérdidas por lixiviación. En este sentido, los suelos caoliníticos se comportan aproximadamente igual a los arenosos, suelos pobres y sin poder de reposición del K.

El segundo grupo, los minerales **illíticos** (trilaminar 2:1, no expandente) son las arcillas con mayor contenido de K. Contienen K en su superficie, en sus bordes, y entre las capas de los cristales. Estas arcillas mantienen el K mucho más fuertemente que las arcillas caoliníticas, conteniendo gran proporción en forma intercambiable.

El tercer grupo de minerales de arcilla es el de las **esmectitas** (trilaminar 2:1 expandente). Este grupo mantiene el K en forma intercambiable en superficie y también profundamente entre las capas expansibles cuando el suelo está húmedo. Cuando estas capas se cierran, al volverse las condiciones ambientales más secas, el espacio intercapas se contrae, atrapando y "fijando" el K que es dificultosamente liberado nuevamente a la solución del suelo.

La mayoría de los suelos de pradera contienen principalmente estos minerales de arcilla; y sus proporciones indican el comportamiento del suelo con respecto al K.

Los minerales arcillosos no cristalinos o paracristalinos, como el **alofano**, se presentan en suelos derivados de cenizas volcánicas. Están constituidos por partículas esféricas muy pequeñas (100-500 Å), que generalmente se aglomeran para formar agregados de mayor tamaño. Los alofanos contienen cantidades muy variables de K pero generalmente presentan muy bajo contenido. Si bien ha sido determinada la adsorción de K, no ha sido registrado como importante el fenómeno de fijación.

Dependiendo del grado de saturación o de agotamiento de K, los minerales arcillosos lo liberarán hacia la solución del suelo o lo adsorberán de ésta. También hay que tener en cuenta que algunos minerales arcillosos trilaminares como illita, vermiculita y tetralaminares como clorita, adsorben K^+ selectivamente. La montmorillonita presenta una selectividad intermedia, menor que la illita.

Consecuencias prácticas del contenido y el tipo de arcillas

a) Disponibilidad de potasio para las plantas

La influencia del contenido y la calidad de la arcilla en la disponibilidad de K para el vegetal es uno de los aspectos más estudiados de este elemento. Numerosos investigadores han determinado que la absorción de K por las plantas esta relacionada directamente al contenido y calidad de arcilla.

A modo de ejemplo se presentan datos de un trabajo de investigación realizado en Argentina, en el que se estudió la disponibilidad de K para las plantas en suelos con distinta cantidad y clase de minerales arcillosos (Figura 3) (Zubillaga, M.M. y M. Conti. 1996). La experiencia realizada en invernáculo, con ryegrass; tomó como variables de causa la cantidad de K intercambiable inicial y la concentración de illita de los mismos. El análisis de los datos fue realizado en dos momentos definidos del ensayo: saturación en máxima y en mínima disponibilidad potásica del suelo. Las características del suelo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición general de los suelos.

Suelo	Arcilla	Illita	Composición de arcillas				K intercambiable inicial	CIC
			Esmeclita	Illita	Caollinita	Alofano		
	%	%	%	%	%	%	cmol ⁺ kg ⁻¹	
Argiudol Vértico	37	17	49	45			1.25	32.5
Argiudol Típico	27	23	15	85			0.69	18.5
Torrifluent Típico	22	21		98			0.28	12.5
Udivitrant Típico	7	Vestigios		< 5		95	0.30	18.5
Kandiudult Típico	43	0			90		0.06	11.0

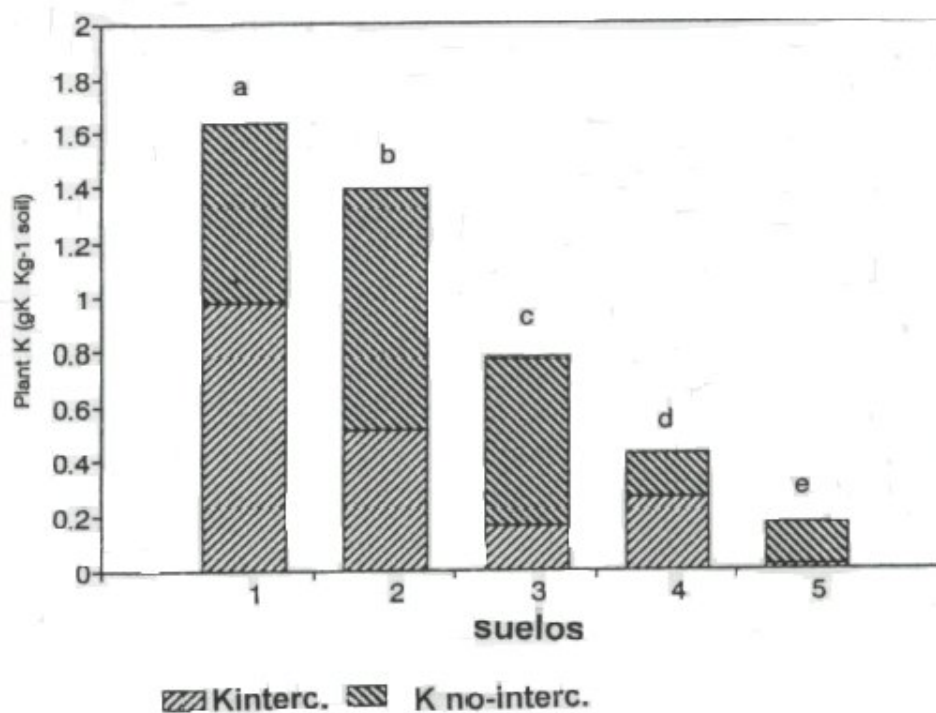


Figura 3. Disponibilidad de K intercambiable y no intercambiable acumulado en ryegrass en las 6 cosechas realizadas (Zubillaga y Conti, 1996). Letras diferentes significan diferencias significativas entre suelos ($p < 0.05$)

La cantidad de K tomada por el ryegrass en todo el ensayo, muestra los diferentes aportes de cada suelo de acuerdo a la cantidad y calidad de arcillas presente. Con excepción del suelo con caolinita (5), los demás

muestran alta correlación entre el K absorbido por el vegetal y la cantidad de arcilla, aunque varían en la participación de K intercambiable y no intercambiable de acuerdo a su naturaleza arcillosa. Para permitir una mejor interpretación, el análisis de la absorción de K por la planta se dividió en dos fases definidas por: máxima y mínima saturación potásica del suelo. Los mismos se muestran en las Figuras 4 y 5 respectivamente.

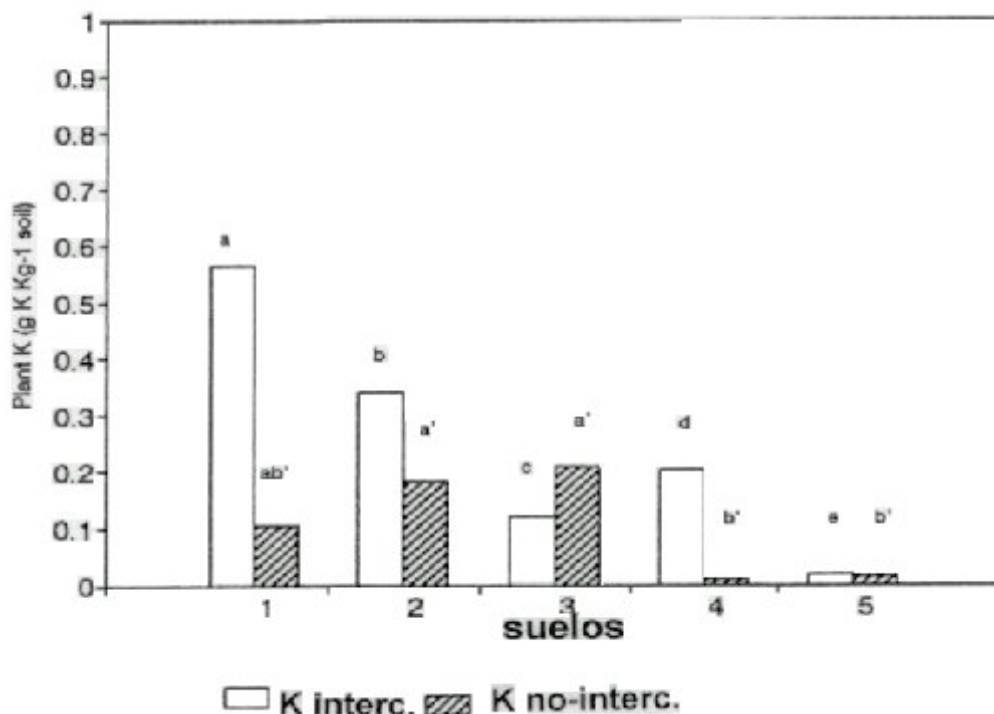


Figura 4. Disponibilidad de K intercambiable y no intercambiable acumulado en ryegrass en el período de máxima disponibilidad de los suelos (Zubillaga y Conti, 1996). Letras diferentes significan diferencias significativas entre suelos ($p < 0.05$). a, b, c, d y e para K intercambiable y a', b', c', d' y e' para K no intercambiable.

Los resultados de la Figura 4 muestran que, en el período de máxima disponibilidad de K la absorción vegetal está relacionada en su mayor proporción al K intercambiable. Las variables K intercambiable inicial y contenido de illita explicaron el 98% de la variación del K adsorbido por el ryegrass.

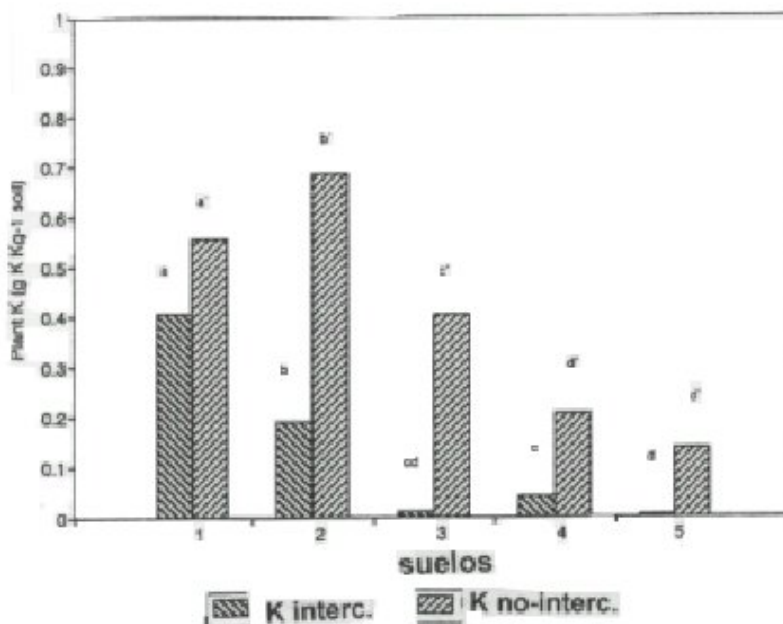


Figura 5. Disponibilidad de K intercambiable y no intercambiable acumulado en ryegrass en el período de mínima disponibilidad de los suelos (Zubillaga y Conti. 1996). Letras diferentes significan diferencias entre suelos ($p < 0.05$). a, b, c, d y e para K intercambiable y a', b', c', d' y e' para K no intercambiable

La Figura 5 muestra que en los períodos de mínima saturación potásica del suelo por gran demanda, la nutrición vegetal está determinada fundamentalmente por las formas de K no intercambiable. En este período, los minerales arcillosos de mayor aporte son aquellos con gran cantidad de K en posiciones del tipo e é i (Modelo de Rich 1968) como la illita. Las variables K no intercambiable y contenido de illita explicaron el 90% de la absorción vegetal de este período.

b) Poder regulador

En general, cuanto mayor sea el contenido de arcilla en el suelo más grande será su capacidad para adsorber el K y mayor será su habilidad para reponerlo a la solución de suelo cuando éste disminuye en su concentración. Se dice que tales suelos están bien regulados, pudiendo mantener la concentración de K de la solución de suelo en un nivel estable.

La diferencia entre un suelo bien regulado y otro pobremente regulado, puede ser descripta por la "relación Q/I" (Beckett, 1967). La forma de la "relación Q/I" es característica de cada suelo. La Figura 6 muestra la representación típica de la capacidad de regulación de un suelo "relación Q/I", con sus parámetros relacionados.

AR^K es la relación de actividad en equilibrio, cuando el suelo no gana ni pierde K. Representa la intensidad del K lábil en el suelo y **constituye la medida de su disponibilidad inmediata**

PBC^K es la **capacidad de regulación potencial del suelo**. Representa la cantidad de K intercambiable que puede pasar a la solución del suelo para equilibrarla. Esta representada por la pendiente de la recta .

ΔK_L representa la cantidad total de K intercambiable incluyendo, las fracciones lábiles fácilmente intercambiables y las posiciones mas específicas como la de los bordes de las partículas de arcillas, (ΔK^0) y (ΔK_x), respectivamente.

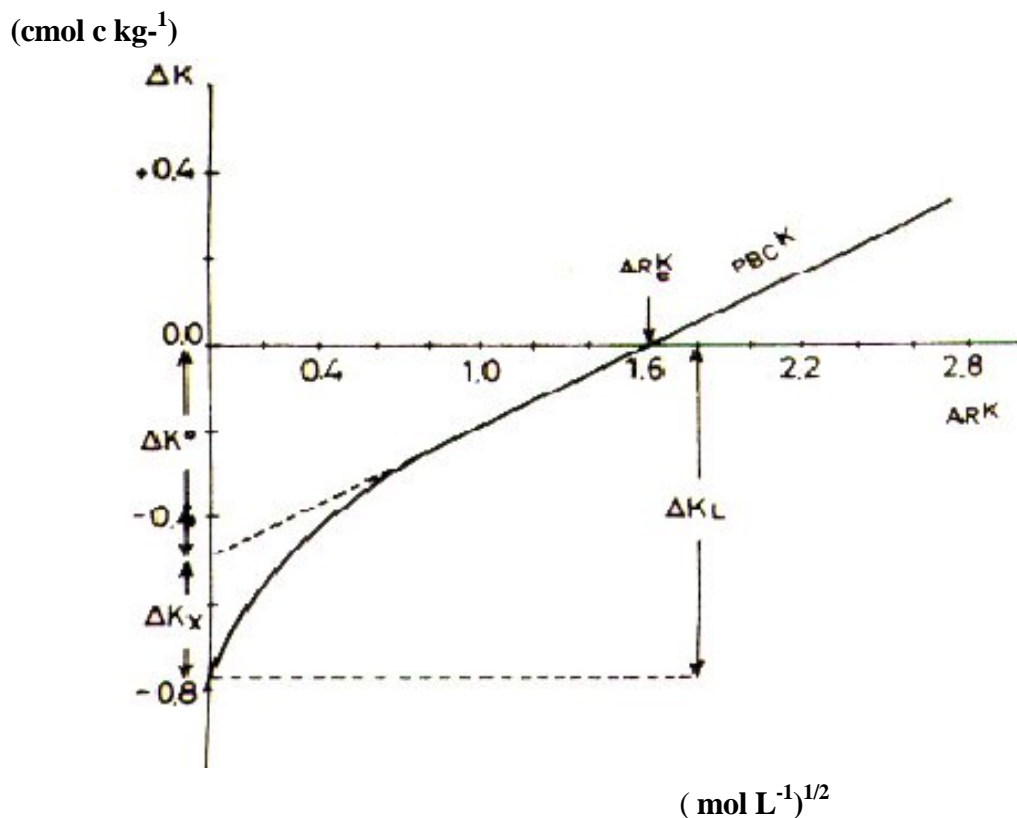


Figura 6. Forma general de la relación Q/I y parámetros deducidos de ella

En las Figuras 7 y 8 se muestran las curvas Q/I de dos suelos con distinto poder regulador y los cambios que se producen ante el agregado de fertilizante potásico (De la Horra A.M., D. Efrón, M.P. Jimenez and M.E.Conti.1998). El suelo con 25 % arcilla, contiene minerales fijadores de K, illita-esmectita y presenta buena regulación (Figura 7). En éste suelo, un cambio apreciable en el K intercambiable (ordenada), modifica poco el contenido de K en la solución (abscisa).

En el suelo arenoso, con solo 10% de arcilla esmectita y poca regulación, un cambio pequeño en el contenido de K intercambiable (ordenada), determina un cambio mucho mayor en el K de la solución (abscisa) (Figura 8).

El efecto de agregar K como fertilizante también es diferente en ambos suelos. Las dosis agregadas aumentan el ΔK_L (cantidad total de K intercambiable) incrementando consecuentemente la concentración de K de la solución, sólo después de haber cubierto las posiciones más específicas de cada suelo. En este sentido, es notorio que el suelo arcilloso retiene en posiciones específicas una gran parte de la cantidad de K agregada en la primer dosis, cosa que no ocurre en el suelo arenoso.

En ambos casos, el agregado del fertilizante no modifica el poder de regulación de los suelos (PBI), esta característica solo esta definida por la clase de arcilla presente.

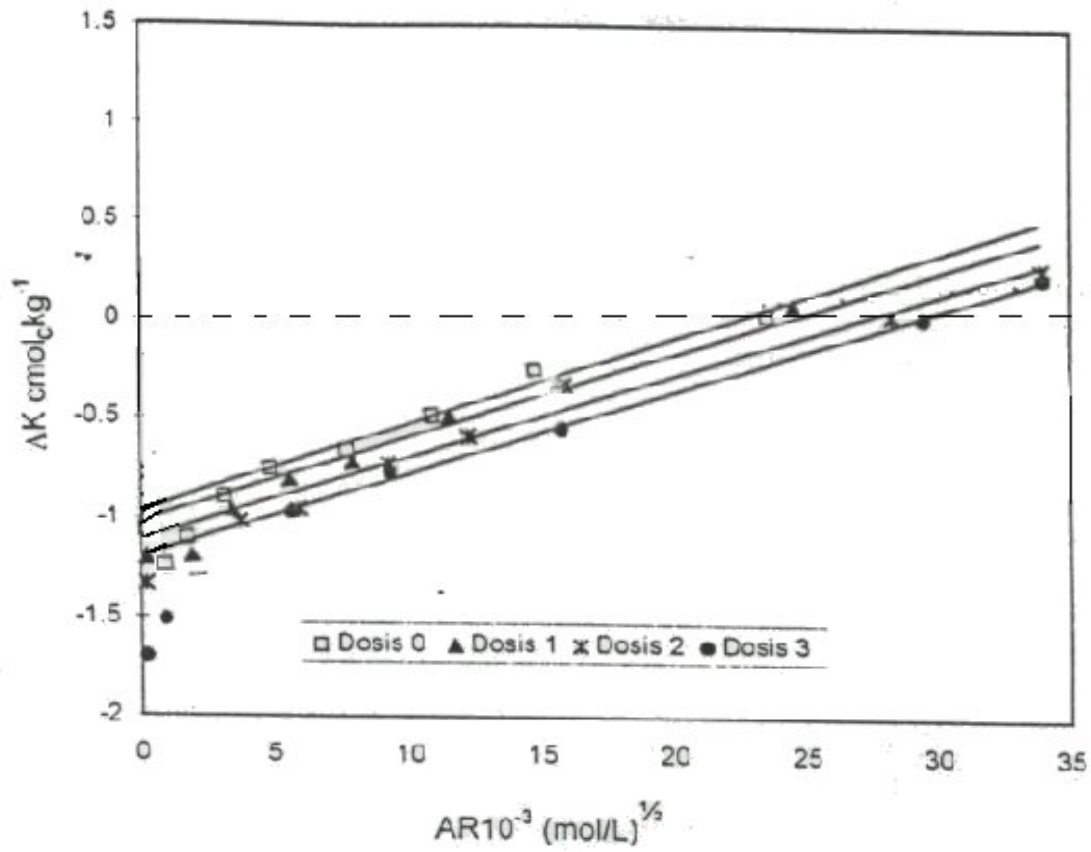


Figura 7. Relación Q/I de un suelo con 25% arcilla (De la Horra et al., 1998)

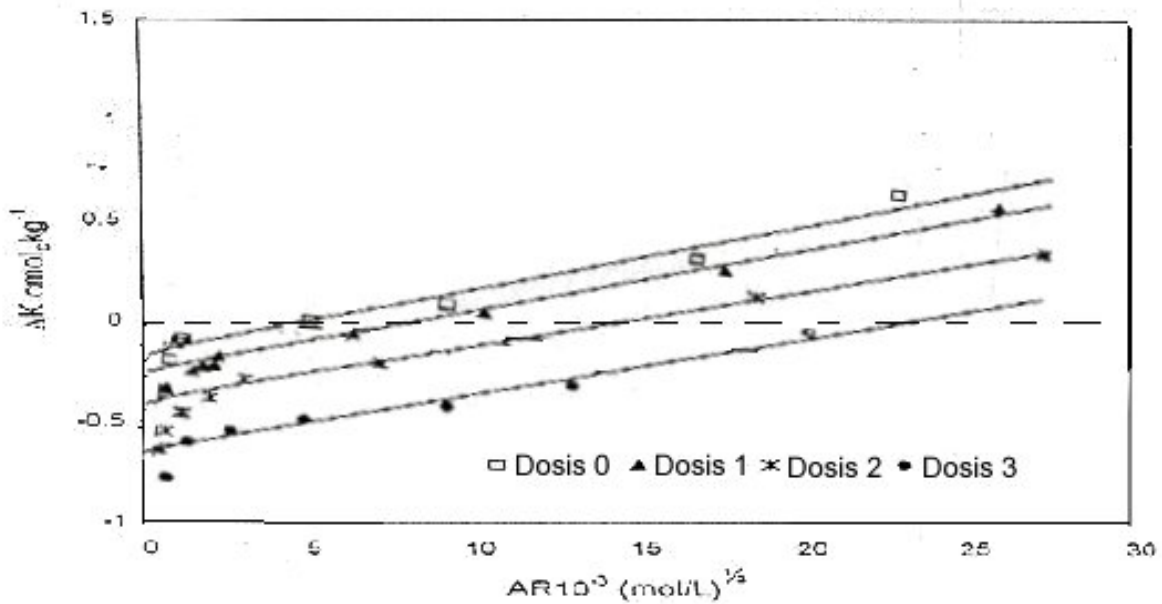


Figura 8. Relación Q/I de un suelo con 10% arcilla (De la Horra et al., 1998).

Las investigaciones demostraron que en los suelos bien regulados, el poder de suministro de K no es sensiblemente afectado por la extracción de los cultivos y que el K en solución es mantenido regularmente constante a lo largo de todo el ciclo del cultivo, de un año al otro. La desventaja de estos suelos es que, si se los maneja de una manera deficiente, aplicando menos K que el extraído por los cultivos, volverlos a la condición original requiere aplicaciones más elevadas de K, debido a que debe satisfacer las uniones específicas. Solo después de esta saturación, el K ocupará los lugares más lábiles, posiciones p y e de la Figura 2.

Es muy difícil mejorar de manera permanente los niveles de K en los suelos arenosos o con bajo porcentaje de arcillas. En estos casos, el manejo recomendado debería enfatizar la aplicación de K sistemática para satisfacer los requerimientos del cultivo actual, inclusive se puede considerar el realizar aplicaciones fraccionadas para mantener el suministro de K a través de todo el ciclo de cultivo.

En los suelos pesados, por otro lado, es posible efectuar mejoras de largo plazo. Si el K del suelo es bajo, el manejo sugerido apunta a aumentar el contenido de K del suelo a través de la aplicación de generosas cantidades iniciales, y luego asegurarse que todos los cultivos reciben suficiente fertilizante potásico para mantener los niveles en el rango adecuado.

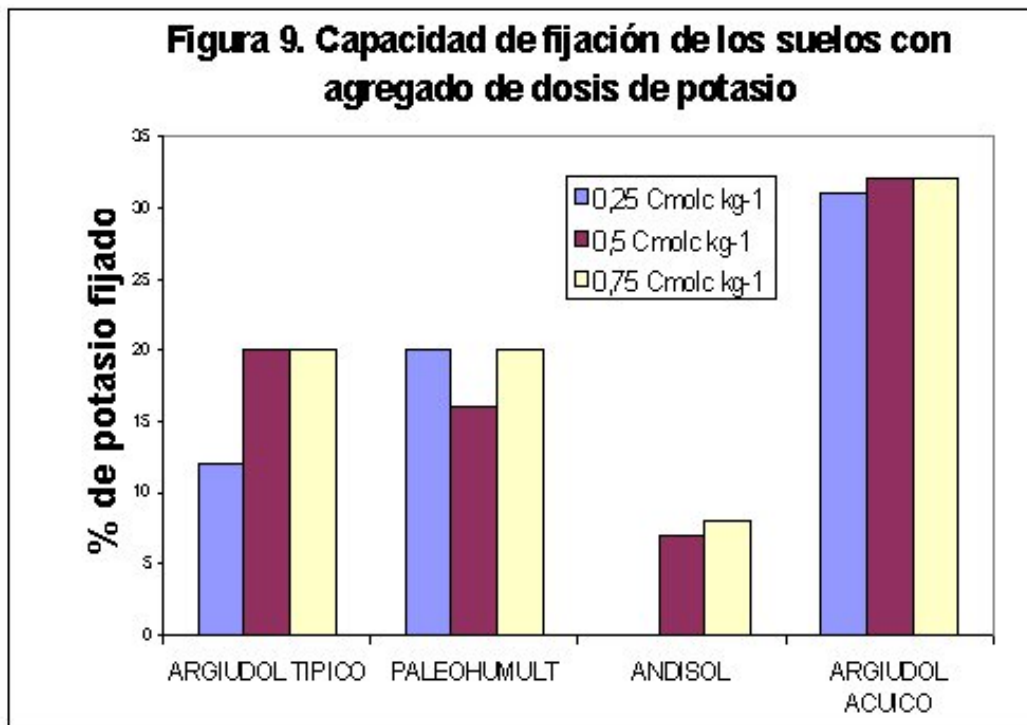
c) Fijación y efecto residual de la fertilización potásica

Como hemos visto, durante su período de crecimiento los cultivos absorben gran cantidad de K que está disponible bajo las formas intercambiable y no intercambiable. Las raíces de las plantas en crecimiento, producen una rápida disminución en la concentración de K de la solución del suelo cercana a ellas. Esto genera un proceso de difusión, con liberación del K intercambiable adsorbido por las cargas de las arcillas y de la materia orgánica. Cuando la concentración potásica de la solución ha disminuido hasta un mínimo (K intercambiable mínimo), el mismo es liberado de las interláminas de las arcillas (K fijado) para reponer el K de la solución del suelo. La principal fuente natural de reposición ante las intensivas extracciones realizadas por los cultivos, es el K fijado ubicado en las interláminas de arcillas del grupo de la illita y minerales del grupo de las esmectitas. De esta manera, el K no intercambiable, contribuye significativamente a la nutrición potásica cuando la forma intercambiable es insuficiente, pero con mucha menor velocidad de pasaje a la solución del suelo. Es por eso que una agricultura intensiva requiere una gran velocidad de reposición de K a la solución del suelo y ello está ligado solo a grandes cantidades de K lábil o intercambiable, (posiciones p y e de la Figura 2.). Los aportes de K por el uso de fertilizantes son necesarios para reponer estas posiciones en especial en aquellos suelos con baja saturación y baja regulación potásica, sometidos a agricultura continua.

El agregado de fertilizante al suelo trae cambios en la dinámica del K. En los suelos que poseen en su composición mineralógica un predominio de arcillas del tipo de las illitas y esmectitas, se favorece el proceso de fijación de K, ocupando el fertilizante los lugares interlaminares en primer lugar. Si los sitios de fijación se encuentran poco saturados, el ingreso de K al sistema puede implicar una disminución de la disponibilidad actual del nutriente para el cultivo, pero una fuente de reserva futura, poder residual de K. La fijación de K para algunos suelos, puede estar relacionada no sólo con la mineralogía de la fracción arcilla, sino también a factores térmicos, que producen la apertura de las estructuras de los minerales micáceos, favoreciendo la liberación de este elemento y la saturación

potásica del suelo. De esta manera, la disponibilidad de K producida por la fertilización se ve afectada por la cantidad, naturaleza de las arcillas y saturación potásica, que provocan una redistribución del K agregado en las formas intercambiables y fijadas.

La Figura 9 nos presenta los porcentajes de fijación potásica de distintas dosis agregadas a suelos con porcentajes y clases de arcillas distintas (Argiudol Típico 25% illita; Paleohumult 55% caolinita-óxidos; Andisol 8% arcilla alofan-caolinita; Argiudol Acuico 20 % esmectita) (Gonzalez et al., 1999).



En este ensayo, el grado de saturación potásica fue uno de los factores que más afectó el valor de fijación de los suelos. Es por eso que los mayores valores se dan en suelos muy desaturados como el Argiudol Acuico.

Los valores de K fijado aumentan con el contenido agregado hasta un nivel máximo, por encima del cual los valores de fijación se modifican poco debido a la saturación de los sitios del complejo de intercambio. Por esta razón, es importante estudiar los mecanismos responsables de la fijación-liberación de cada suelo para poder desarrollar estrategias de manejo de la fertilidad en las que se aumente la eficiencia de la fertilización potásica tomando en consideración todos los componentes que actúan en el mismo.

La posibilidad de que el K residual de la fertilización pase a formas aprovechables, es un proceso que además de las variables comentadas anteriormente, involucra el poder regulador del suelo y el consumo efectuado por el cultivo. Experiencias realizadas demostraron incrementos en el rendimiento de los cultivos por acción del K fijado o residual de anteriores fertilizaciones potásicas.

Para determinar el efecto residual de distintas dosis de fertilizante potásico y su cinética de liberación, se calcula el valor **B** (índice de residualidad) que es un estimador del poder de residualidad potásica de los suelos. El valor B es una metodología que determina la relación entre el K fijado y el intercambiable más el soluble, después de adicionar fertilizante potásico al suelo (Karpinets, 1993). Presupone que la fijación - liberación es una reacción reversible entre el K presente en el complejo de intercambio y el fijado en los espacios interlaminares de los minerales arcillosos. El valor B es una propiedad fija de los suelos dependiente de su naturaleza arcillosa.

Consideraciones finales

Como hemos visto la influencia de la mineralogía en la dinámica de la fijación y liberación de K tanto nativo como el agregado por fertilización es grande y definitiva. La misma interviene en la liberación, el poder regulador y la fijación de K de manera selectiva, regulando su adsorción, velocidad de reposición y de reserva. El conocimiento y estudio de la mineralogía del suelo es fundamental para el entendimiento de las interacciones dinámicas entre la fertilización y las demandas de los cultivos. Las recomendaciones de fertilizantes deberían ser modificadas y adaptadas a la luz de estos estudios para aumentar la precisión y eficiencia de la fertilización.

Bibliografía

- Badraouri, M.; P.R Bloom.; A. Delmaki. 1992. Mobilization of non-exchangeable K by ryegrass in five Moroccan soil with and without mica. *Plant and Soil*. 140: 55-63.
- Beckett, P.T. and Nafady, M.H. 1967. Potassium- Calcium exchange equilibria in soils. The location on non-specific and specific exchange sites. *Soil Sci*. 18: 263-281.
- Buhman, C. 1993. K-fixing phyllosilicates in soils, the role of inherited components. *J. Soil Sci*. 44: 347-360.
- Conti, M. E. 1992. Que sabemos del Potasio. *Revista Proceder*. 2 (3) :48- 56.
- Conti, M.E.; A. M. de la Horra.; A. Marchi. 1993. Efecto del Laboreo en la dinámica de Potasio en suelos de la región Panpeana Argentina *Proceeding del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Salamanca España*. Tomo II, 607-614.
- Conti, M.E.; A.M. de la Horra. D. Effrom.; M.P. Jimenez.. 1993. Alteración producida en la relación cantidad-intensidad de potasio (Q/I) de algunos suelos argentinos afectados por el laboreo continuo. *Agrochimica*. 37. 4-5.
- Conti, M.E.; M.M. Zubillaga. 1994. Relationship between soil Potassium and the mineralogical characteristics of each textural fractions. Presentado en el XV International Soil Science Congress. Mexico 38-39.
- Conti M.E., AM De la Horra , MG Gonzalez, NM Arrigo y A Marchi. 1995. Velocidad de liberación de potasio en Argiudoles Pampeanos. *Ciencia del Suelo*. 13(2):76-79.
- Conti, M.E, A.M. de la Horra, N. M. Arrigo, A. Marchi. 1997. Fertilización e interacción Potasio - Fósforo sobre el rendimiento de alfalfa en un Haplustol típico (Zona semiarida Argentina). *Ciencia del Suelo*. 15: 51-52.
- De la Horra, A. M.; M.E. Conti.; V. Sanguesa.; M. Moretti. 1993. Potasio: Comparación del comportamiento de diferentes métodos en suelos cultivados y sin cultivar. *Turrialba* 1:2.27 - 32.

- De la Horra A.M., D. Efrón, M.P. Jimenez and M.E.Conti.1998. Effect of Potassium Fertilizers on Quantity-Intensity Parameters in Some Argentine Soils. *Commun.Soil.Sci.Plant Anal.* 29(5&6):671-680
- Gething, P.A.1994. Actualidad del potasio. Instituto Internacional de la Potasa. 3: 23-30.
- González, M.G., G.B. Moreno y H.A. Svartz. 1996 Cambios en los niveles de P y K en suelos fertilizados después de 12 años de pastoreo continuo efecto sobre la pastura. *Rev. de la Facultad de Agronomía.* 16 (1-2): 1-6
- Gonzalez MG, Moreno G, Conti ME y de la Horra AM. 1999. Cambios en la fijación-liberación de potasio en Argiudoles con distinto tipo de arcilla y saturación potásica. *Ciencia del Suelo* 17(1):27-31
- Goulding, K.W.T. 1987. Potassium fixation and release. *Proceeding of the 20th Colloquium of International Potash Institute held in Baden Bei Wien/Australia.* 137-154.
- Karpinets, T.W. 1993. Estimation of K fixation and release in soils by two consecutive extractions. In *Potash Review.* 1. 29-33.
- Marchi A.A., M.E.Conti, M.G.Gonzalez and A.M.de la Horra. 1995. Potasio intercambiable mínimo en molisoles de la región pampeana Argentina. *Agrochimica* 39(2-3):169-176.
- Meyer, D.; A. Jungh. 1993. A new approach to quantify the utilization of non-exchangeable soil potassium by plants. *Plant Soil* 149: 235-243.
- Mengel, K.; E.A. Kirkby. 1987. Potassium. In "Principles of Plant Nutrition". Chapter 10:427-453. I.P.I. Bern, Switzerland
- Mengel, K.; C. Rahmatullah. 1994. Exploitation of K by various crops species from primary minerals in soils rich in micas. *Biol.Fertili. Soils* 17: 75-79.
- Poss, R.J.; Y. C. Fardeau, H. Saragoni.; P. Quantin. 1991. Potassium release and fixation in ferrasols (oxisols) from Southern Togo. *J.Soil.Sci.* 42: 649-660.
- Rich, C.J. Mineralogy in soil potassium. 1968. In *The role of Potassium in Agriculture.* p. 79-96. Amer. Soc. Agron. Madison/USA.
- Rubio, B.; A.F.Gil-Sotres.1995. Potassium Fixation in suspensions of soil of Galicia (N.W.Spain). *Commun.Soil.Sci.Plant Anal.* 26 (3&4), 577- 591.
- Sardi, K.; Debreczeni, K.1992. Comparison of methods evaluating the plant available potassium content in soils of different types and potassium levels. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 23; 26: 13-2632.
- Sharpley, A.N. 1990. Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. *Soil. Sci. Vol.* 149 (1): 44-51.
- Zubillaga, M.M. y M.E.Conti. 1994. Importance of the textural fraction and its mineralogic characteristics in the potassium contents of different Argentine soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 25: (5-6). 479 - 487.
- Zubillaga, M.M. y M. Conti. 1996. Availability of exchangeable and non exchangeable K in Argentine soils with different mineralogies *Journal of Plant Nutrition and Soil Science. Z. Pflanzenernahz. Bodenk.,* (159): 149-153