

LOS NIVELES GLAUCONÍTICOS DE LA FORMACIÓN SALAMANCA, CHUBUT: SU EFECTIVIDAD AGRONÓMICA COMO FUENTE ALTERNATIVA DE FERTILIZANTE POTÁSICO

Liliana N. CASTRO¹, Roberto A. SCASSO^{1,2}, Agustina BRANZINI³, Marta. S. ZUBILLAGA³, Ana M. FAZIO¹, Selvia M. TOURN¹ y María M. ZUBILLAGA³

¹Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

E-mail: lilianacastro@fibertel.com.ar; amfazio@gl.fcen.uba.ar; selvia@gl.fcen.uba.ar;

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET. E-mail: rscasso@gl.fcen.uba.ar

³Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

Email: branzini@agro.uba.ar; zubilla@agro.uba.ar; mzubilla@agro.uba.ar;

RESUMEN

Las secuencias marinas del Maastrichtiano-Paleoceno inferior representadas por la Formación Salamanca y unidades equivalentes, presentan niveles con glauconita que podrían suplir parcialmente las importaciones de potasio para uso en la industria de fertilizantes. La prospección y muestreo se realizó en las nacientes del río Chico, Chubut, donde los espesores de los niveles glauconíticos alcanzan 20 metros. El trabajo se dividió en fases: fase 1, prospección, muestreo y análisis sedimentológicos y químicos de rutina; fase 2a, ensayos de concentración y tratamiento, y fase 2b, ensayos agronómicos donde se compara la efectividad agronómica de las areniscas glauconíticas (GL) con el fertilizante potásico tradicional (KCl). Estos últimos se realizaron en cámara de cultivo, con las fracciones 125 μm y 250 μm , (2,85 y 2,82 % K_2O respectivamente) de GL y con KCl, variando las dosis aplicadas, más una muestra testigo resultando en total 7 tratamientos. A lo largo de las 4 cosechas no se observó un comportamiento diferencial significativo entre GL1, GL2 (125) y el testigo. Ambos tratamientos de GL 250 μm presentaron una mayor biomasa acumulada, superando al testigo en un 44 y 60 % respectivamente. Como conclusión, los tratamientos con GL (125) presentaron resultados poco diferenciables del testigo, en tanto que en GL (250) los valores alcanzados superaron a los obtenidos con la fertilización con KCl. Probablemente la mayor participación de feldespato potásico junto a un incremento en la velocidad de lixiviación por riego en la fracción 125 μm origine el rendimiento diferencial observado. La gran extensión areal de la Formación Salamanca y la continuidad de los niveles glauconíticos alienta a continuar su evaluación como fertilizante o enmienda.

Palabras clave: *Areniscas glauconíticas, Fertilizante potásico, Formación Salamanca, Fuente alternativa de potasio*

ABSTRACT: *The glauconitic levels of the Salamanca Formation, Chubut: its agronomic effectiveness as a potassium fertilizer alternative.* The Maastrichtian-Early Palaeocene Salamanca Formation and equivalent marine sequences show several glaucony levels, which could be used as a source of potassium and could partially replace current fertilizer requirements met from import. First agronomic assays are shown comparing the efficiency of greensands (GL) with a traditional potassium fertilizer (KCl). Prospection and sampling took place in the heads of Rio Chico to east of Lago Colhué Huapi, Chubut, where glauconitic levels thickness reach to 20m. This research was separated in phases: phase 1, prospection, sampling, and sedimentological and chemical routine analyses, phase 2a, concentration and ore treatment assays, and phase 2b, agronomic assays. This last phase, was done in culture chamber, with 125 μm and 250 μm fractions (2,85 and 2,82 % K_2O respectively) and KCl. Varying the dose, seven treatments were completed. In successive harvests (four in total) was observed that GL1 and GL2 (125), did not present a significantly differential behavior with the control. Both treatments of GL 250 μm showed major accumulated biomass, overcoming the control in 44 and 60 % respectively. As conclusion, better results were obtained by 250 μm overcoming even to the KCl fertilization. Probably the major participation of K feldspars in the 125 μm and fast leaching of K in this fraction during successive irrigations of soil would originate the minor observed yield. The great areal extension of the Salamanca Formation and the continuity of the glauconitic levels encourage continuing the evaluation as fertilizer or amendment.

Keywords: *Glauconitic sandstones, Potassium fertilizer, Salamanca Formation, potassium alternative sources*

INTRODUCCIÓN

Los fertilizantes son todas las sustancias o mezclas de sustancias que se incorporan al suelo o al cultivo para promover o estimular su crecimiento, aumentar su productividad y mejorar su calidad. Los macronutrientes como el fósforo (P), el potasio (K) y el nitrógeno (N) son componentes esenciales de los fertilizantes y, por ende, cruciales para la agricultura. Con excepción del N, prácticamente todos los nutrientes de las plantas derivan de recursos geológicos. Estos recursos pueden ser aplicados al suelo directamente sin mayores modificaciones como abonos minerales naturales (finamente molidos) o pueden ser transformados industrialmente en agroquímicos y se aplican al suelo o a los cultivos con el fin de enriquecerlos en elementos químicos activos. El término enmienda mineral se aplica a cualquier sustancia mineral capaz de modificar y mejorar las propiedades y las características físicas, químicas, biológicas o mecánicas del suelo.

En nuestro país, la aplicación de fertilizantes está en pleno crecimiento desde 1990. Hacia comienzos de esa década el consumo de fertilizantes era alrededor de 400.000 t por año, actualmente supera las 3.600.000 t (<http://www.fertilizar.org.ar> 2008). Conjuntamente, en las últimas décadas, la agricultura argentina sufrió un proceso de cambio pasando de sistemas productivos con agricultura mixta a agricultura intensiva. Esto produjo una elevada tasa de extracción de nutrientes con los consecuentes procesos de degradación y agotamiento, poniendo en peligro la sustentabilidad de los sistemas productivos (Cruzate y Casas 2003). Si bien el nivel de reposición de nutrientes al suelo vía fertilización es exponencial, no alcanza a reponer el nivel de extracción que realizan los cultivos con una producción también en aumento. Mantener la fertilidad de los suelos es por lo tanto fundamental para sostener una producción creciente en el tiempo (Mengel y Kirkby 1987). De los tres nutrientes primarios, el N es producido en el país (Bahía Blanca)

como urea. En lo que respecta al P, hasta el momento la Argentina no posee depósitos de rocas fosfáticas económicamente explotables (Castro y Melgar 2005, Castro *et al.* 2009), si bien en Santa Fe existe una planta de producción de superfosfato simple a partir de roca fosfórica importada de Marruecos y ácido sulfúrico del mercado local (<http://www.e-mosaic.com.ar>). En el caso del K existen dos proyectos de la Empresa Vale. El primero corresponde a Potasio Río Colorado, ya factibilizado y el segundo, en fase de exploración, a la región de la Cuenca Neuquina vinculada al desarrollo de evaporitas (KCl) a 1000 m profundidad. Es importante señalar que existen restricciones en el uso de KCl, ya que posee alto índice de salinidad que causa deficiencias hídricas en la germinación de las semillas. Por otro lado, su toxicidad puede afectar la calidad de algunos cultivos específicos. El K es uno de los nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento vegetal. Las cantidades absorbidas por los cultivos son casi tan grandes como las del N y en algunos cultivos, como la soja, mucho mayor. En general, la fertilización con K es muchas veces desatendida por el impacto indirecto en los rendimientos, y por el hecho que los cultivos pueden producirse dentro de un amplio rango de disponibilidad de K en el suelo, contrariamente al N y P. Eso lleva en muchos escenarios, a bajas aplicaciones de K en un contexto de fertilización desbalanceada con pérdidas de rendimiento y mayor riesgo económico para los productores agrícolas (Castro y Melgar 2005). Las distintas regiones del país presentan variaciones en los niveles de K en el suelo. Por ejemplo, se admite que los suelos pampeanos presentan contenidos elevados de K. Sin embargo, Morras y Cruzate (2001) señalaron ciertas diferencias de contenido entre suelos de distintas áreas dentro de esta región. Por el otro lado, en oxisoles de Misiones se encontraron bajos contenidos de K tanto en la fracción intercambiable como no intercambiable (Zubillaga y Conti 1996). Los horizontes superiores de suelos en las áreas próximas a los depósitos glaucó-

nicos presentan disponibilidad media: 0.3-0.6 meq/100g del contenido de K (Moscatelli *et al.* 2001). Hay situaciones en las que se debe controlar la evolución de la disponibilidad del K del suelo, como es el caso de la producción de pasturas y forrajeras en sistemas de manejo de alta producción bajo corte (Branzini *et al.* 2008).

La mayor parte del K (95%) explotado en el mundo, extraído principalmente de las evaporitas, se utiliza como fertilizante en agricultura, ya sea directamente como potasio o mezclada con los otros nutrientes (Dooley 2006). Potasa es el término que incluye diferentes sales de potasio solubles en agua como cloruro de potasio, sulfato de potasio y magnesio, o mezcla de nitrato de sodio y potasio. El uso de otros minerales de K con aplicaciones en la industria agrícola (Gillman y Noble 2005) se ha extendido en los últimos tiempos, entre ellos la glauconita *greensands* o areniscas verdes es el nombre aplicado comúnmente a una roca o a un sedimento arenoso que contiene un alto porcentaje de la glauconita.

Como resultado preliminar del proyecto ANPCYT BID 1728OC-AR-PICT 25342 "Minerales autigénicos marinos como fuente de fósforo y potasio para la industria de fertilizantes", se realizaron los ensayos agronómicos comparando la efectividad agronómica del fertilizante potásico tradicional (KCl) versus areniscas ricas en glauconitas (GL) de diferente granulometría provenientes de la Formación Salamanca, Chubut, como fuente alternativa de potasio de liberación controlada.

FORMACIÓN SALAMANCA

Las secuencias marinas del Maastrichtiano-Paleoceno inferior están representadas en la columna sedimentaria de diversas localidades de la Patagonia, en el ámbito de la cuenca del Golfo San Jorge (Chubut y Santa Cruz). Estas secuencias, que se agrupan en la Formación Salamanca (Lesta y Ferello 1972) y unidades equivalentes, presentan niveles significativos con glauconita. Las facies glauconíticas de-

nominadas “arenas glauconíticas” (Windhausen 1924) u horizontes glauconíticos verdes (Feruglio 1949) han sido estudiados por varios autores desde el punto de vista estratigráfico y sedimentológico (Andreis *et al.* 1975, Martínez 1992, Castro y Martínez 1993 y 1997). Castro y Tourn (2004) hacen el primer planteo del uso de las glauconitas de esta unidad como insumo para la industria de fertilizantes. La Formación Salamanca cubre un área cercana a 30.000 km² en el sector este de la provincia de Chubut y nordeste de Santa Cruz, cerca o en superficie con escasa cubierta estéril. Los bancos glauconíticos están expuestos en forma intermitente a lo largo de una faja de 450 km de largo y 45 km de ancho. Los primeros estudios vinculados a la prospección para su uso agronómico de los bancos glauconíticos se realizaron en el sector de las nacientes del Río Chico, sobre su margen derecha, al este del lago Colhué Huapi (Fig.1). En este sector no aflora el límite inferior de la Formación Salamanca; mientras que el límite superior se ubica inmediatamente por debajo del Banco Negro (primer nivel de la Formación Río Chico) a través de un contacto neto. El espesor de la unidad es muy variable en esta área llegando a unos 85 m entre el manto volcánico (Basalto Presalamanquense) y el Banco Negro de la Formación Río Chico (Sciutto *et al.* 2008). Andreis *et al.* (1975) divide a la Formación Salamanca en dos miembros, el inferior o Miembro Bustamante y el superior o Miembro Hansen, que es el que aflora en esta área y que presenta los niveles glauconíticos con espesores que alcanzan los 20 metros. El Miembro Hansen está compuesto principalmente por areniscas glauconíticas de grano medio a fino, friables y de color verde muy característico con intercalaciones de niveles arcillosos y de areniscas verdes más pálidas hacia la base (Russo 1953). En el sector superior es común encontrar niveles de ostreas, pectínidos, briozoarios, moluscos y dientes de cetáceos, sobre los cuales también pueden encontrarse fragmentos de madera silicificada (Sciutto *et al.* 2008).

La edad de la Formación Salamanca difiere según los autores. Barcat *et al.* (1989) la asigna al Mastrichtiano, en función de la presencia del nanofósil *archangenskiella cymbiformis*. Esto también puede observarse en la columna generalizada expuesta por Boll *et al.* (2000). Sciutto *et al.* (2008) la asignan al Paleoceno inferior y correspondería a la primera ingresión marina atlántica en la región (Nocioni 1993). Los caracteres estructurales de las maderas y las características asociadas a los registros de crecimiento indican que el clima era templado-cálido y húmedo, con veranos secos y primaveras lluviosas (Brea *et al.* 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se dividió en fases, las cuales en algunos casos se realizaron simultáneamente.

Fase 1: Prospección, muestreo y tareas de laboratorio

Durante las tareas de campo se prospectaron distintos afloramientos de la Formación Salamanca, se seleccionaron sectores y se levantaron perfiles donde los niveles glauconíticos eran más potentes. Para la evaluación del material, se tomó una muestra volumétrica de estos niveles de 50 kg, en canaleta, a lo largo de los 15 m de espesor, en la localidad Estancia Los Laureles (8 km al norte del Puente de Cemento (45°33'04"LS, 68°13'40"LO, Fig. 1). Sobre esta muestra, se realizó el cuarteo en laboratorio y una porción se destinó a los análisis sedimentológicos de rutina. Se efectuó el tamizado por vía húmeda para eliminar la fracción limo-arcilla y por vía seca, con una serie de cribas Tyler (tamices 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 88 μ m, y 62 μ m) para separar las fracciones areno-gravosas. Se efectuaron los correspondientes histogramas y se observaron bajo lupa binocular y microscopio las fracciones con mayor contenido de glauconita sobre las cuales se realizaron los análisis químicos para determinar el contenido de K₂O (% en peso) y se realizaron a su vez análisis de elementos mayoritarios sobre muestra total. Para analizar

los granos de glauconita se realizó su concentración mediante un separador magnético isodinámico Franz (Mod. L1, 115 V, 2.2 A) en la fracción 125-250 micrones.

Fase 2

Fase 2a: Ensayos de prefactibilidad industrial, método de concentración y tratamiento: De manera simultánea y a efectos de evaluar las posibilidades de concentración industrial de la glauconita otra porción del cuarteo fue tamizada por vía seca, separándose las fracciones granulométricas de 500-170 μ m y de 170-88 μ m. Éstas fueron procesadas utilizando un separador magnético de alta intensidad en seco con imanes permanentes de tierras raras (Eriez) en el INTEMIN, SEGEMAR (Fase 2a, Castro *et al.* 2008b).

Los ensayos agronómicos se realizaron sobre las fracciones de arena glauconítica (GL) de 125 μ m y 250 μ m, sin aplicar ningún método de concentración previa.

Fase 2b: Ensayo agronómico: El ensayo se realizó en cámara de cultivo con el horizonte superficial (pH=4,9) de un suelo Kandiuadalf ródico de la localidad de Jardín América (27°02'327"LS, 55°10'613"LO) de Misiones. El suelo fue secado al aire y tamizado por malla de 4 mm. Se dispusieron bandejas de cultivo (0,4 m de por 0,345 m) sobre una mesada ubicada a 0,60 m por debajo de 12 tubos fluorescentes de invernáculo que generaban, en promedio, 2414 luxes al ras de la mesada y 3076 luxes a 0,12 m de la misma. Cada bandeja fue cargada con 7 kg de suelo, llevado al 80% de su capacidad de campo y se sembró con una mezcla de semillas a una densidad de 10 g por maceta. A continuación, se fertilizó con 1,5 kg/100 m² de fosfato diamónico (PDA) y 0,25 kg/100m² de urea. La mezcla de semillas estaba constituida por *Festuca rubra* 47 %, *Poa trivialis* 23 %, *Lolium perenne* 18 % y *Lolium multiflorum* 12 % con un poder germinativo del 80 %. Se efectuaron siete tratamientos correspondientes a: 1) testigo, 2) 6 g/kg suelo de GL (125), 3) 18 g/kg suelo de GL (125), 4) 6 g/kg suelo de GL (250), 5) 18 g/kg suelo de GL (250), 6) 0,2 g/kg suelo de KCl y 7) 0,4

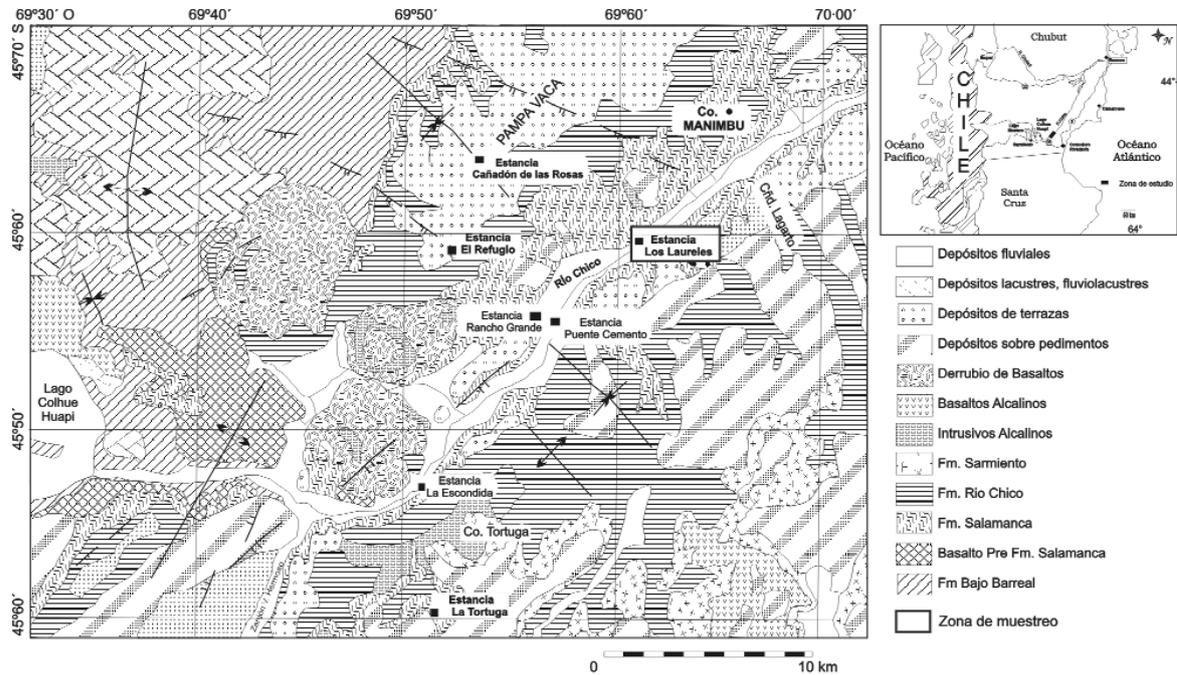


Figura 1: Mapa de ubicación y geología del área en estudio, adaptado de Sciuotto *et al.* (2008).

g/kg suelo de KCl.

Las bandejas se regaron diariamente hasta constancia de peso. Se realizaron cuatro cosechas sucesivas a los 19, 34, 49 y 68 días de iniciado el ensayo, cortando el material aéreo al ras del suelo. Luego de cada cosecha se fertilizó con urea y PDA, y se resembró con igual dosis de semillas que al inicio del ensayo. El material cosechado fue secado en estufa a 60° C y pesado. Además, para cada tratamiento, se calculó el rendimiento relativo (RR) según la siguiente fórmula:

$$RR = \left(\frac{\text{Rendimiento Fertilizado}}{\text{Rendimiento Control}} \right) * 100$$

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente por ANOVA y las diferencias entre medias por el test de *Least Significance Difference* (LSD), utilizando el paquete estadístico Statistix 2000.

RESULTADOS

Fase 1: Prospección y tareas de laboratorio

La prospección en distintas localidades permitió comprobar la presencia de glau-

conita en el Miembro Hansen de la Formación Salamanca, de gran extensión areal en niveles superficiales y subsuperficiales. Este miembro litológicamente se compone por areniscas, pelitas y limolitas con coquinas y conglomerados subordinados, con bajo grado de consolidación. Presenta varios niveles de areniscas glauconíticas con espesores variables entre 0,5 y 10 m. La figura 2 muestra un perfil general de la columna en la margen derecha del Río Chico en sus nacientes.

La distribución granulométrica, tanto en muestra total como en los intervalos glauconíticos, mostraron una distribución unimodal simétrica con una moda principal en 125-250 μm (Fig. 3).

La muestra está constituida por cuarzo, glauconita, vidrio volcánico, y en menor proporción plagioclasa, feldespatos alterados, clastos pelíticos, fragmentos líticos volcánicos dentro de la fracción liviana que constituye en general más del 95 % de la muestra. La fracción pesada está compuesta principalmente por hipersteno, augita, hornblenda, magnetita y hematita y en ningún caso supera el 5 % del total de la muestra (Fig. 4).

Los análisis químicos de las fracciones

retenidas en los tamices de 125 μm y 250 μm indican valores de 2,85 y 2,82 % de K_2O respectivamente. Los análisis sobre muestra total indican la presencia de P_2O_5 entre el 1 y 3%.

Fase 2

Fase 2a: Ensayos de concentración y tratamiento:

A partir de los métodos de tratamiento magnéticos se observa que el concentrado obtenido por separador isodinámico Franz se enriqueció en K en un 80 % mientras que los ensayos preliminares con separador magnético de alta intensidad enriquecieron el concentrado entre un 65 y 70 % (Fig. 5). Cabe mencionar que este segundo método sería el adecuado a escala industrial por los volúmenes a tratar.

Fase 2b: Ensayo agronómico:

En la figura 6 se observan los rendimientos de materia seca aérea obtenidos en las distintas cosechas y tratamientos. En el primer corte (día 19) no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las dosis GL1 y GL2 (125 μm) y la muestra testigo (7 y 3 % más de biomasa aérea relativa al testigo, respectivamente). Los resultados obtenidos en los tratamientos GL1 y GL2 (250 μm) muestran un incremento de

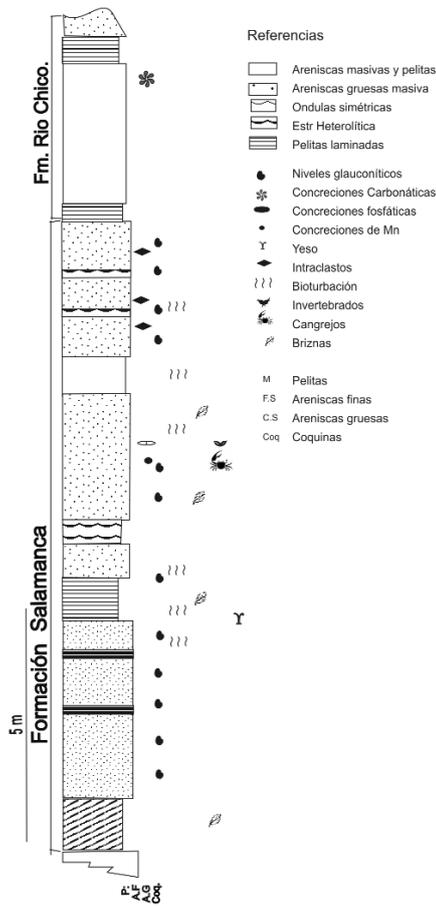


Figura 2: Perfil general de la columna en el margen derecho de las nacientes del río Chico.

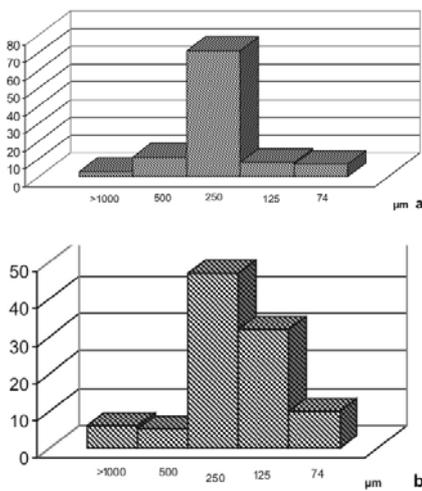


Figura 3: a) Distribución granulométrica de muestra total; b) Distribución de glauconita.

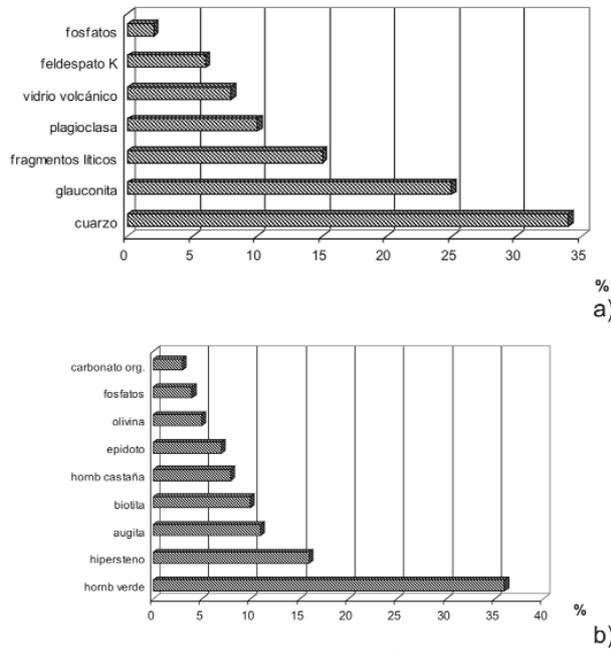


Figura 4: Mineralogía de a) fracción liviana, b) pesada, en el intervalo 125-250 μm

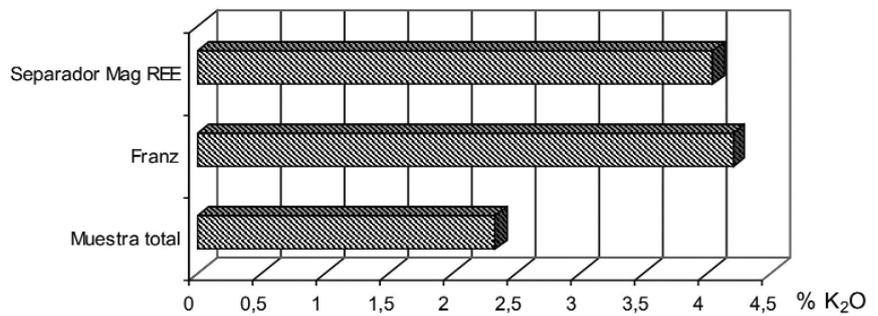


Figura 5: Resultados de los tratamientos magnéticos comparados con la muestra total en el intervalo 125-250 μm . Separador isomagnético (Franz) y separador magnético de alta intensidad con imanes de tierras raras (Eriez).

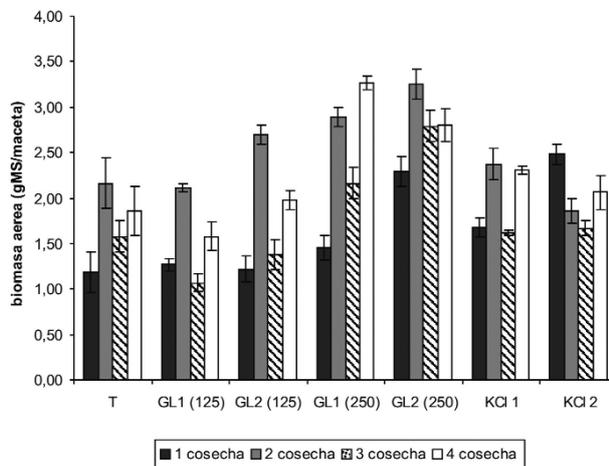


Figura 6: Rendimientos de materia seca aérea obtenidos en las distintas cosechas y tratamientos.

biomasa aérea del 22 y 94 %, respectivamente, con respecto al testigo. En los tratamientos con KCl los resultados son aún más altos (42 y 110 %). con las dosis de 0,2 y 0,4g KCl. Si se compara la eficiencia en términos de la relación de pesos de materia seca obtenida con baja dosis (GL1 (250)/KCl1) v alta dosis (GL2 (250)/KCl2), se observa que se mantiene la relación en ambas.

En la segunda, tercera y cuarta cosecha (días 34, 49 y 68) se observó que no existieron diferencias significativas entre GL1 (125) y ambas dosis de KCl respecto de la muestra testigo (cuadro 1). En el caso del KCl, este comportamiento podría deberse a la baja residualidad del fertilizante soluble. De los resultados obtenidos para GL1 (125), se infiere que aparentemente estaría existiendo un agotamiento gradual de K disponible procedente de la fase glauconítica, en tanto que en el tratamiento GL2 (125) existe un remanente disponible para el aumento de biomasa con respecto al testigo. En el caso de las muestras GL1 y GL2 (250), se observa un notorio incremento en la biomasa con respecto al resto de los tratamientos (34 y 50 %, respectivamente).

En la figura 7 se muestra la biomasa aérea (materia seca total) acumulada de la mezcla forrajera en función de los trata-

mientos. GL (125) dan resultados muy similares al testigo. Durante todo el experimento se obtuvo mayor biomasa acumulada con GL1 y GL2 (250) y los mejores resultados fueron logrados con la mayor dosis de esta fracción. Al final del ensayo, la biomasa aérea de estos tratamientos respecto a las dosis de KCl, fue mayor en un 18 y 27 %, respectivamente. Esto podría atribuirse a la capacidad de liberación controlada del K. Si se compara la biomasa seca acumulada total con respecto al testigo, las GL1 y GL2 (250) presentan un rendimiento de un 44 y un 64 % respectivamente, mientras que el KCl alcanza un 20 % en las dos dosis (Fig. 8).

Si no se hubiese separado ambas fracciones granulométricas (125 y 250 μm) y se variara solo las dosis, los rendimientos

CUADRO 1: Porcentaje relativo al testigo de los diferentes tratamientos en las sucesivas cosechas acumuladas

% de biomasa aérea relativo al testigo	% de biomasa aérea relativo al testigo			
	1 cosecha	2 cosecha	3 cosecha	4 cosecha
GL1 (125)	107,63	97,68	67,72	84,94
GL2 (125)	103,39	125,00	87,34	106,45
GL1 (250)	122,88	133,80	136,71	175,80
GL2 (250)	194,07	150,46	176,58	150,53
KCl1	142,37	109,70	102,53	124,19
KCl2	210,17	86,11	105,70	110,75

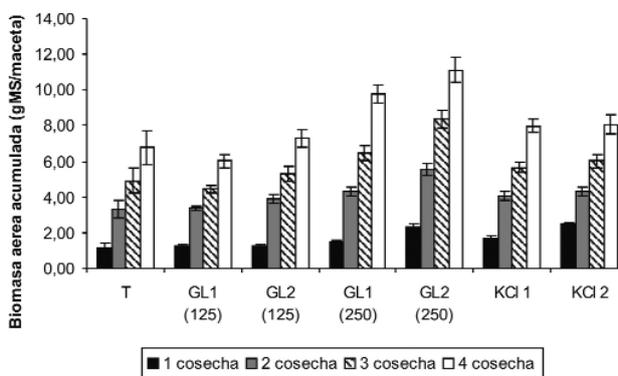


Figura 7: Biomasa aérea (materia seca total) acumulada de la mezcla forrajera en función de los tratamientos y cosechas

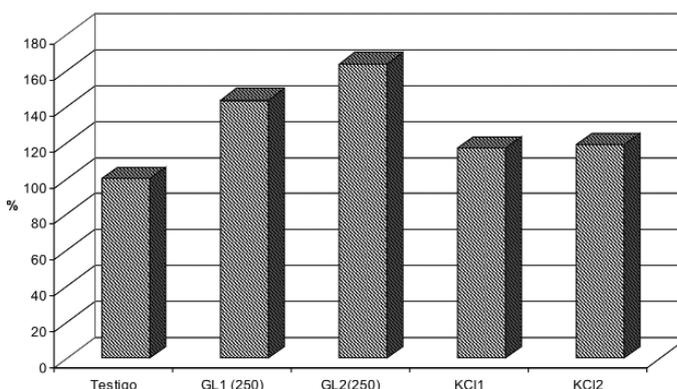


Figura 8: Rendimiento relativo de GL1 y GL2 (250) y KCl1 y KCl2 con respecto al testigo

habrían sido de un 15 y un 25 % con respecto al testigo (Fig. 9). Dadas estas diferencias con respecto a la muestra tamizada, habría que evaluar costo/beneficio de la separación de fracciones versus rendimiento ante la eventual explotación de este recurso.

DISCUSION Y CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Las bandejas tratadas con glauconita presentaron valores de rendimiento bajo en la fracción de 125 μm y muy buenos re-

sultados para la fracción de 250 μm , que superan incluso a los de la fertilización con KCl. Esto se vincula a la liberación controlada de la glauconita frente al fertilizante soluble. Sin embargo, la razón por la cual la fracción más gruesa resulta mejor fertilizante es actualmente objeto de estudio. Las diferencias observadas entre las fracciones de 125 μm y 250 μm podrían atribuirse a un mayor contenido de minerales potásicos no glauconíticos (feldespato potásico) en la fracción de menor granulometría que generaría una disponibilidad diferencial de K para el cultivo.

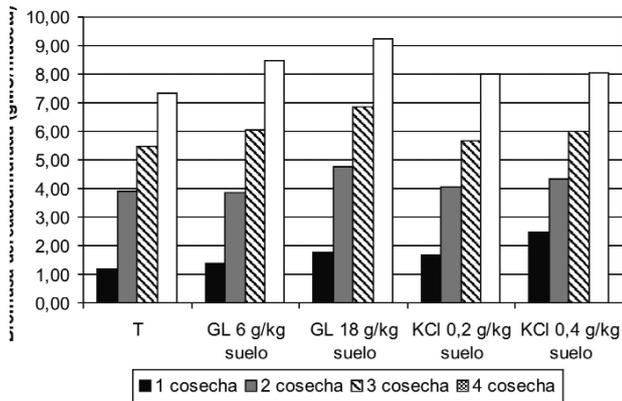


Figura 9: Biomasa aérea (materia seca total) acumulada de las dos fracciones de GL, del KCl y del testigo, en función de la dosis de fertilizante y de las cosechas.

te alternativa de potasio, principalmente para agriculturas orgánicas. La explotación de este recurso podría promover el desarrollo de una industria extractiva que minimice los riesgos de contaminación y fomentar además el desarrollo socio-económico de la región en estudio.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por los proyectos ANPCYT BID 1728OC-AR-PICT 25342 y UBACYT X 305 (Minerales autigénicos marinos como fuente de fósforo y potasio para la industria de fertilizantes). Los autores desean agradecer a la Lic. Celeda por los ensayos de concentración y tratamiento y a Panamerican Energy por brindar el alojamiento durante las tareas de campo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Andreis, R., Mazzoni, M y Spalletti, L. 1975. Estudio estratigráfico y paleoambiental de las sedimentitas terciarias entre Pico Salamanca y bahía Bustamante, provincia del Chubut, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30(1): 85-103.

Barcat, C., Cortiñas, J., Nevestic, V., Stach, N., y Zuchi, H. 1989. Geología de la región comprendida entre los Lagos Muster-Cohué Huapi y la Sierra Cuadrada, Departamentos Sarmiento y Paso de Indios, Provincia del Chubut. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 263-282, Buenos Aires.

Boll, A., Chelotti, L., Lafitte, A. y Villar, J. 2000. Petroleum habitat in the El Tordillo Field and adjacent areas, North Flank of the San Jorge Basin, Argentina: Different opportunities for oil and gas emplacement. En Trindade, L.A.F., Macedo, A.C., y Barbanti, S.M. (eds.) *Proceedings of Seventh Latinamerican Congress on Organic Geochemistry*: 305-307. Brasil.

Branzini A., Zubillaga M.S., Castro, L.N., Scasso, R., Fazio, A.M. y Zubillaga, M.M. 2008. Uso de glauconita como fertilizante potásico. 21º Congreso Argentino de la Ciencias del Suelo, Comisión 3-47:1-6, Potrero de Funes.

Brea, M., Matheos, S., Zamuner, A. y Ganuza, D. 2005. Análisis de los anillos de crecimiento del bosque fósil de Victor Szlápelis, Terciario

También debería considerarse la mayor velocidad de lixiviación de K con los riegos sucesivos del suelo en la granulometría más fina, lo que provocaría el agotamiento rápido del K disponible.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS 2009), ha indicado el uso de glauconita como sustituto de fertilizantes tradicionales potásicos, sobre todo para cultivos intensivos y cercanos al yacimiento. Además, recientemente se aplica en India como fertilizante de aplicación directa y de liberación controlada (Tifac 2008). También se plantea como un recurso minero *offshore* junto con fosfatos en Sudáfrica (Cole 2002). Levchenko (2008) sugiere su uso en Rusia como fertilizante y como enmienda para mejorar la estructura del suelo. En nuestro caso, la propuesta es aplicar la glauconita determinados nichos frutihortícolas principalmente en las áreas de los valles del río Chubut y del río Negro.

A pesar de tener menor ley que el KCl, el modo de explotación de la glauconita a cielo abierto y su método de concentración y tratamiento reduciría costos. El uso de un separador magnético de alta intensidad en seco sería el adecuado a escala industrial por los volúmenes a tratar, ya que los ensayos preliminares indican un enriquecimiento en el concentrado entre un 65 y 70 %. Castro *et al.* (2008a) asumen que la puesta a punto del método de concentración permitiría aprovechar estos niveles glauconíticos para uso directo como fertilizantes potásicos de liberación controlada, principalmente para

cultivos orgánicos, con el valor agregado por otros nutrientes subordinados (P, en algunos niveles, Ca y Mg). En la actualidad, existe un cambio de enfoque priorizando la calidad frente al rendimiento sobre todo en cultivos de exportación para captar nuevos mercados.

Hasta el momento no se relacionaron las fases 2a (ensayos de concentración y tratamiento) y 2b (ensayo agronómico). Se espera que luego de tratar las muestras con métodos magnéticos donde se obtiene mayor concentración de glauconita (mayor ley de K₂O), se alcance un mejor rendimiento agronómico y se logre disminuir las dosis aplicadas.

La gran extensión areal de la Formación Salamanca y de otras unidades equivalentes, así como la continuidad de los niveles con contenido de glauconita induce a proponer su evaluación como un adecuado fertilizante mineral para la agricultura. En general, por las características del ambiente de formación, los fosfatos y las glauconitas se encuentran asociados, lo que otorga una ventaja adicional para su uso como fertilizante y acondicionador del suelo.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren prospectar otras áreas de Patagonia a fin de evaluar las reservas de este mineral para su aprovechamiento económico en la industria de fertilizantes. Los ensayos preliminares alien-tan a ajustar la metodología para su uso como mineral industrial como fuen-

- inferior del Chubut, Argentina. *Ameghiniana* 42 (2): 407-418.
- Castro, L. y Martínez G. 1993. Authigenic minerals of Salamanca Formation, cerro Tortuga, Patagonia, Argentina. Concepts and controversies in phosphogenesis (IGCP 325). Correlation with Phosphorites and associated authigenic minerals: 12 p.
- Castro, L.N. y Tourn, S.M. 2004. Direct application of phosphate rocks and glauconite as alternative sources of fertilizer in Argentina. SUM 21 Special issue of exploration and mining geology on sustainable development in the minerals industry. Geological Society of Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum 12: 72-79.
- Castro, L. y Melgar, R. 2005. Potasio. Capítulo Argentina. En Nielson y Sarudiansky (eds.) *Minerales para la Agricultura en Latinoamérica*. 4-2: 254-265, Buenos Aires
- Castro, L.N., Fazio A.M., Scasso, R.A., Tourn, S. y Soreda M.E. 2008a. Potential potassium deposits in Patagonia, Southeast of Argentina. *Bulletin of the Tethys Geological Society* 3:275-280.
- Castro, L.N., Tourn, S.M., Scasso, R.A., Celeda, A. y Fazio A.M. 2008b. Evaluación de los niveles glauconíticos de la Formación Salamanca como fuente alternativa de potasio para la industria de fertilizantes. 12° Reunión de Sedimentología, Actas 1:51, Buenos Aires.
- Castro, L.N., Scasso, R.A. y Moya M.C. 2009. Phosphate deposits in Argentina: State of the art. Covaphos III, 3° International conference on the valorization of phosphates and phosphorus compounds: phosphate fundamentals, processes and technologies in a changing world, Actas 5: Po1-5. Marrakech.
- Coles, S.K., Wright, C.I., Sinclair, D.A. y Van den Bossche, P. 2002. The potential for environmentally sound development of marine deposits of potassic and phosphatic minerals offshore, southern Africa. *Marine georesources and geotechnology* 20(2): 87-110.
- Cruzate, G., y Casas R. 2003. Balance de nutrientes Fertilizar. INTA, Año 8, Número Especial "Sostenibilidad": 7-13.
- Dooley, J. 2006. Glauconite. En *Industrial Minerals and rocks: Commodities, Markets, and Uses*: Kogel, J, Trivedi, N. Barrer, J y Krukowski, N. (eds.) Society for Mining, Metallurgy, and Exploration: 495-506.
- Feruglio, E. 1949. Descripción geológica de la Patagonia. Publicaciones Especiales de Yacimientos Petrolíferos Fiscales 2: 1-349, Buenos Aires.
- Gillman G. y Noble A. 2005. Manageable Fertilizers: A New Approach. *Environmental Quality Management*: 59-70.
- Lesta, P. y Ferello, F. 1972. Región extrandina del Chubut y Norte de Santa Cruz. En Leanza, A.F. (ed.) 1° Simposio de Geología Regional Argentina: 601-654.
- Martínez, G. 1992. Paleoambiente de la Formación Salamanca en la Pampa María Santísima, Departamento Sarmiento, Provincia de Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47(3): 293-303.
- Melgar, R.J. y Castro L.N. 2005. Potasio. Capítulo Introductorio. En Nielson y Sarudiansky (eds.): *Minerales para la Agricultura en Latinoamérica* 4(1): 238-256, Buenos Aires.
- Moscattelli G., Lutters, L.A. y Gómez, L.A. 2001. Niveles de disponibilidad y reservas de potasio en Argentina. En *El potasio en Sistemas agrícolas argentinos*. 1° Simposio FAUBA-IPI-INTA Fertilizar 1: 13-59, Buenos Aires.
- Levchenko, E., Patyk-Kara, N. y Levchenko, M. 2008. Glauconite deposits of Russia: Perspectives of development, MRD-07 Geology and mineral potential of CIS countries. 33° International Geological Congress, Resumen: www.cpr.mg.ov.br/33IGC/1259055.html. Oslo.
- Mengel, K. y Kirkby, E.A. 1987. Potassium. *Principles of Plant Nutrition* 10: 427-453.
- Morras, H. y Cruzate, G.A. 2001. Origen y distribución del potasio en los suelos de la región Chaco-Pampeana. En *El potasio en Sistemas agrícolas argentinos*. 1° Simposio FAUBA-IPI-INTA, Fertilizar 1: 21-34, Buenos Aires.
- Russo, A., 1953. Levantamiento geológico al norte de Pico Salamanca entre el mar y la Pampa del Castillo, Salamanca y Malaspina; escala 1:100.000 YPF(Inédito), 20 p., Buenos Aires.
- Sciutto, J.C., Césari O y Iantanos, N. 2008. Hoja Geológica 4569-IV, Escalante, provincia del Chubut. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 351, 76 p., Buenos Aires.
- TIFAC 2008. Technologies for agricultural application of glauconite-a potash mineral. <http://www.tifac.org.in/>
- USGS 2009. Mineral commodity summaries. Potash, 124-125 <http://minerals.usgs.gov/commodity/potash>.
- Winhausen, A. 1924. Líneas generales de la constitución geológica de la región situada al oeste del Golfo de San Jorge. *Academia Nacional de Ciencias, Boletín* 27: 167-320, Córdoba.
- Zubillaga, M.M. y Conti, M.E. 1996. Availability of exchangeable and non exchangeable K in Argentine soils with different mineralogy. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 159: 149-153

Recibido:

Aceptado: