



Trabajo Final de la Carrera de Ingeniería Agronómica.

Modalidad dúo.

**APTITUD DE TRES ROCAS ARGENTINAS COMO FERTILIZANTE
FOSFORADO PARA APLICACIÓN DIRECTA**

Nombre: Camiletti Federico

Nº de Legajo: 26.389/8

DNI: 34.985.654

Dirección de correo electrónico: fcamiletti@gmail.com

Teléfono: (02396)15-612979

Nombre: Marban Ramiro

Nº de Legajo: 26.191/4

DNI: 35.179.972

Dirección de correo electrónico: ramiro.marban@hotmail.com

Teléfono: (0221)15-5894787

Nombre del Director: Ing. Agr. Víctor Hugo Merani

Nombres de los Co – Directores: Ing. Agr. Guillermo Millan, Ing Agr. Dr. Santiago Schalamuk.

Fecha de entrega: 5 de Julio de 2018

ÍNDICE:

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
HIPÓTESIS	8
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Ensayos de solubilidad de Fósforo	10
Primera etapa	10
Metodología de solubilidad en Citrato de amonio	10
Cuantificación del Fósforo total	11
Segunda etapa	12
Ensayo de laboratorio de solubilidad en suelo	12
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
CONCLUSIÓN	20
BIBLIOGRAFÍA	21

RESUMEN:

Las rocas fosfóricas constituyen un recurso natural finito y no renovable que se encuentran en depósitos a lo largo de todo el mundo. No todos ellos son explotados, ya sea por las características de las rocas o bien por el tamaño de los depósitos, los cuales no justifican la inversión para su industrialización. Actualmente la totalidad de los fertilizantes fosfatados en Argentina son importados, debido a ello es que se decidió analizar rocas extraídas de yacimientos argentinos para evaluar su comportamiento como rocas de aplicación directa. Se realizaron ensayos sobre tres rocas argentinas, dos originarias del norte y una de la Patagonia. En una primera etapa se evaluó el contenido de Fósforo (P) mediante dos métodos de extracción con ácido cítrico, uno a 65°C y otro a temperatura ambiente. Por otra parte se cuantificó el Fósforo total (Pt) contenido en las rocas mediante la técnica de colorimetría de meta-vanadato. En una segunda etapa se realizó una incubación de los diferentes minerales en dos suelos distintos (Trenque Lauquen y Belgrano). Dichos tratamientos consistieron en incubar cada mineral por separado, el mineral C más un fertilizante amoniacal (MAP), MAP solo, y un testigo. Sobre los suelos se midió el contenido de Fósforo disponible al inicio y al final por la metodología de Bray-Kurtz N° 1, a fin de evaluar la disponibilidad del P en el corto plazo.

En cuanto al contenido de P obtenido a temperatura ambiente, no se observaron diferencias, mientras que a 65°C el mineral B mostro mayor liberación de P que los minerales A y C. Mediante la técnica de colorimetría de meta-vanadato se determinó que el mineral C es el que presenta mayor contenido de Pt. Por último, mediante las incubaciones, se llegó a la conclusión que la aplicación de rocas fosfóricas junto con fertilizantes amoniacales favorecen la disponibilidad del P, siendo más visible en los suelos de Belgrano.

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) es uno de los 17 nutrientes considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Junto con el nitrógeno (N) y el potasio (K) conforman el grupo de los macronutrientes principales, tanto por las cantidades requeridas por los cultivos, como por la frecuencia con que se encuentran en cantidades deficientes para los cultivos (García *et al.*, 2005).

Los suelos de la región pampeana se caracterizan por poseer contenidos variables de fósforo total (Pt) en función de su material original. Sin embargo, la intensificación agrícola, el aumento considerable de los rendimientos y el bajo empleo de fertilizantes, han contribuido a generar deficiencias del elemento en zonas tradicionalmente bien provistas para gran parte de los cultivos extensivos (Vázquez, 2002). En ese sentido, el consumo de fertilizantes fosfatados en Argentina se ha incrementado notablemente en los últimos años. A pesar del marcado incremento en el consumo de P, la relación aplicación/remoción muestra un balance negativo en los principales cultivos extensivos (soja, maíz, trigo y girasol). Así, la fertilización con P es necesaria no solo para incrementar los rendimientos, sino también para mantener la productividad de los suelos y evitar su deterioro.

Las rocas fosfóricas son la materia prima básica para la producción de los fertilizantes fosfatados. En la actualidad son productivos pocos yacimientos de roca fosfórica, siendo cerca del 90 por ciento de la producción mundial utilizada por la industria para la elaboración de fertilizantes fosfatados, mientras que el resto se emplea para la fabricación de alimentos para animales, detergentes y otros productos químicos. Muchos depósitos de roca fosfórica que se encuentran en las zonas tropicales y subtropicales, aún no están en producción. Esto se debe a que las características de estas rocas fosfóricas, si bien son adecuadas para la aplicación directa, no reúnen las normas de calidad requeridas para producir fertilizantes fosfatados solubles en agua

utilizando la tecnología convencional de procesamiento industrial. Otra razón es que los depósitos son demasiado pequeños para justificar las inversiones necesarias para su explotación minera y procesamiento (FAO, 2007).

Actualmente la totalidad de los fertilizantes fosfatados en Argentina son importados o elaborados utilizando como materia prima rocas fosfóricas de alta ley también importadas. Cuando mencionamos “ley” hacemos referencia al grado de concentración de elemento puro contenido en un volumen de roca/mineral, es una medida que describe el grado de concentración de recursos naturales valiosos (como los metales o minerales) presentes en una mina. Se utiliza para determinar la viabilidad económica de una operación de producción minera.

Una opción utilizada frente a la aplicación de fertilizantes fosforados es la aplicación directa de rocas fosfóricas, la cual ha presentado respuestas positivas en algunos suelos o cultivos, y su efectividad puede ser a su vez incrementada con tecnologías biológicas (ej. utilización de microorganismos solubilizadores y/o movilizadores de fósforo, fosfocompostación) o químicas (ej. acidulación parcial).

Como ya hemos comentado, el P en el suelo no existe en forma elemental, se encuentra combinado con otros elementos formando complejos minerales (fósforo inorgánico, Pi) o compuestos orgánicos (fósforo orgánico, Po). El contenido total en la capa superficial del suelo puede variar desde 200 ppm o mg.kg^{-1} , en los suelos arenosos, hasta 5000 ppm en los de texturas finas. Haciendo hincapié en la presencia de P en suelos argentinos, en el SO de la provincia de Buenos Aires los contenidos varían entre 200 y 1000 ppm (Galantini *et al.*, 2005; Suñer y Galantini, 2012). Esta variabilidad depende de la naturaleza del material original, su grado de meteorización, de las características climáticas y del manejo agronómico.

La mayor parte del P total no se encuentra directamente disponible para los cultivos, sino que está en equilibrio dinámico entre las formas orgánicas e inorgánicas, que

depende del ambiente edáfico. Las formas lábiles son aquellas que se encuentran disponibles en el corto o mediano plazo para las plantas y los microorganismos del suelo. Su contenido se estima mediante la extracción por métodos clásicos, normalmente Bray-Kurtz u Olsen. Este P extraíble (Pe) generalmente es bajo, dadas las características de los materiales originales de los suelos de la región pampeana (Suñer y Galantini, 2012). La intensificación de la agricultura de las últimas décadas ha acentuado estas deficiencias ya que los balances de P son negativos en la mayoría de los sistemas agrícolas y ganaderos argentinos (Duval *et al.*, 2013). Si bien ha habido un aumento en las aplicaciones de fertilizantes aún no se ha llegado a compensar la exportación que se realiza debido a la producción agropecuaria, debiéndose considerar que los suelos bajo cultivo pierden P no solo a través de la remoción por los productos de cosecha (granos, frutos, forrajes) sino que también ocurren pérdidas por erosión (Suñer y Galantini, 2013).

En la naturaleza la disponibilidad de P se produce por la descomposición de rocas que contienen fosfatos, y mediante su erosión natural llegan a los suelos y a las aguas (ríos, lagos y mares). Las mencionadas rocas, poseen el nombre colectivo de “rocas fosfóricas” el cual es utilizado para denominar a todos los minerales que contienen fosfatos. Estas constituyen un recurso natural finito, no renovable y los depósitos geológicos de diferente origen se encuentran en todo el mundo.

En 2004, la producción mundial de roca fosfórica fue de 138 millones de toneladas métricas (US Geological Survey, 2005). Los principales países productores en función del porcentaje de la producción total son: USA (26%), China (18%), Marruecos y Sahara Occidental (17%), Rusia (8%), Túnez (6%), Jordania (5%), Brasil (4%) e Israel (2%). La estimación de reservas y recursos de roca fosfórica son altamente variables. Las reservas globales (depósitos que pueden ser extraídos con ganancias bajo las condiciones económicas y técnicas actuales) se estiman según US Geological Survey

(2005) en 18 billones de toneladas de roca fosfórica. Los recursos globales, reservas probadas más todos los demás recursos minerales que podrían estar disponibles, están en los 50 billones de toneladas. Esto significa que bajo las actuales condiciones técnicas y económicas, y con la actual cantidad de producción de roca fosfórica, las reservas durarían por 130 años aproximadamente. Sin embargo, se anticipa que en función del aumento de los precios de la roca fosfórica, algunos de los recursos conocidos se convertirán en reservas y el tiempo de vida de las rocas fosfóricas se incrementaría notablemente. (US Geological Survey, 2006)

Cabe destacar que los factores que influyen sobre la eficiencia agronómica de las rocas fosfóricas son la reactividad, las características del suelo, las condiciones climáticas, la especie cultivada y las prácticas de manejo del cultivo. Una alta sustitución de fosfato por carbonato en la estructura del cristal de la apatita, un bajo contenido de carbonato de calcio como mineral accesorio y un tamaño de partícula fino ($< 0,15$ mm) aumenta la reactividad de la roca y su efectividad agronómica. El incremento de la acidez del suelo, una alta capacidad de intercambio catiónico, los niveles bajos de calcio y de fosfato en solución, y un alto contenido de materia orgánica favorecen la solubilización de las rocas fosfóricas. Una alta capacidad de retención de fosfato en el suelo puede facilitar la solubilización de la roca fosfórica pero la disponibilidad del fosfato disuelto dependerá de la concentración de fosfato mantenida en la solución. Los suelos con un nivel medio en fosfato son considerados más adecuados para la aplicación de la roca fosfórica que los suelos extremadamente deficientes en fosfato. Un aumento de la precipitación pluvial resulta siempre en el incremento de la eficiencia agronómica de las rocas fosfóricas. Esta última a su vez puede ser obtenida en los cultivos perennes y en las plantaciones así como con las leguminosas. Para obtener la máxima eficiencia agronómica, las rocas fosfóricas deben ser incorporadas al suelo. En los suelos de nivel medio o alto de fosfato, puede

aplicarse una dosis de mantenimiento de P y en los suelos severamente deficientes en P serán necesarias dosis muy altas de aplicación. La época de aplicación puede ser cerca de la siembra en los suelos muy ácidos ($\text{pH} < 5,5$) o unas 4 a 8 semanas antes de la siembra en los suelos menos ácidos (FAO, 2007).

Los fertilizantes fosfatados solubles en agua tales como los superfosfatos, ya nombrados, son fabricados y comúnmente recomendados para corregir las deficiencias fosfóricas; sin embargo, la mayoría de los países en desarrollo deben importar estos fertilizantes, los que se encuentran en cantidades limitadas y representan un gran desembolso para los pequeños agricultores. Además, la intensificación de la producción agrícola requiere la aplicación de P, no sólo para aumentar la producción de los cultivos sino también para mejorar el nivel de este elemento en los suelos y así evitar una mayor degradación de los mismos. Por lo tanto, es imperativo explorar fuentes fosfóricas alternativas. Bajo ciertas condiciones de suelo y de clima, la aplicación directa de las rocas fosfóricas, especialmente si se hallan disponibles localmente, ha demostrado ser una alternativa interesante a los superfosfatos, tanto agronómica como económicamente, ya que estos últimos son de mayor costo. Existen depósitos de roca fosfórica en todo el mundo y algunos se utilizan principalmente como materia prima para la producción de fertilizantes fosfatados solubles. (Chien y Hammond *et al.*, 1978)

Los factores más importantes en su evaluación para la aplicación directa son: el grado o ley, la conveniencia para el beneficio y la reactividad de la apatita. Una matriz completa de caracterización basada en la integración de todos los datos obtenidos por varios métodos analíticos determina el potencial de beneficio y los mejores usos posibles de la roca fosfórica en la producción de los fertilizantes fosfatados solubles o como fertilizante de aplicación directa (FAO, 2007).

Existen varios métodos para evaluar las rocas fosfóricas para fines de la aplicación directa. Uno de ellos consiste en las pruebas empíricas de solubilidad de la roca fosfórica en soluciones químicas extractivas. Las soluciones más comunes son el citrato de amonio neutro, el ácido cítrico al 2 por ciento y el ácido fórmico al 2 por ciento; este último es el método más utilizado. (FAO, 2007).

En base a lo expuesto se plantea los siguientes objetivos e hipótesis.

Objetivo general

- Aportar al conocimiento sobre la riqueza fosfórica de minerales de depósitos argentinos y la factibilidad de su utilización como fertilizante de aplicación directa.

Objetivos específicos

- Evaluar la fertilidad fosfórica de tres rocas oriundas del centro norte y Patagonia Argentina mediante dos metodologías de laboratorio
- Evaluar el comportamiento de las tres rocas fosfóricas aplicadas en dos suelos de características contrastantes de la región pampeana.

Hipótesis

- Existen en argentina minerales con alto contenido de P que pueden utilizarse como fertilizantes fosforados.
- La riqueza en P de materiales minerales los vuelven aptos como fertilizantes de aplicación directa.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Se trabajó sobre 3 minerales oriundos del Norte y la Patagonia Argentina:

- Mineral A
- Mineral B
- Mineral C

Caracterización de los minerales:

Mineral A:

Corresponde a una roca fosfórica de acumulación biogénica que se localiza en el noroeste argentino (NOA), en una faja de unos 200 kilómetros de largo en sentido norte-sur. Forma parte de la cuenca marina Paleozoica inferior. Estas rocas contienen caparazones de braquiópodos (lingulas) y cemento fosfático en diversos niveles, con espesores de hasta 2,5 metros y contienen concentraciones de P_2O_5 que varían de 3 hasta 19 %.

El material estudiado proviene de un yacimiento próximo al río Capillas, provincia de Jujuy. Contiene: P= 5,4% y P_2O_5 =12,57%, además de altos contenidos de SiO_2 ; Al_2O_3 ; CaO. El contenido fosfórico se aloja en los restos orgánicos. El mineral puro corresponde a un fosfato de calcio (Lopez de Azarevich *et al.*, 2016).

Mineral B:

Muestra de Triplita

Se trata de un mineral proveniente del Cerro Blanco, departamento Punilla, provincia de Córdoba. Corresponde a un mineral del grupo de la triplita $(Mn,Fe)_2 PO_4 (F,OH)$. Se

presenta en masas de 5-6 toneladas en rocas conocidas como pegmatitas que se alojan en cuerpos de rocas graníticas del basamento. La triplita analizada en este estudio contiene 15,1% de P y 34,6 de P_2O_5 . Además registra $MnO= 39,4\%$; $FeO=12,2\%$ e insoluble= $1,7\%$. Corresponde a un fosfato complejo de hierro y manganeso (Gay, 1964).

Mineral C:

Dicho material se presenta en costras y nódulos fosfáticos de color amarillento a castaño claro y con tamaños variables de 10 a 20 cm. Conforman rocas fosfóricas que se encuentran en un nivel superior de la Formación “Las Violetas” que pertenece al grupo Río Chico (Paleógeno inferior), provincia de Chubut. (Schalamuk *et al.*, 2014)

Ensayos de solubilidad de Fósforo

El ensayo se dividió en dos etapas:

Primera etapa	Segunda etapa
Evaluación de solubilidad de los minerales	Incubación de diferentes minerales en dos suelos distintos
Cuantificación de Pt	

Tabla N°1: Etapas realizadas en la determinación de la solubilidad de fósforo.

Primera etapa:

Esta etapa consistió en el análisis y evaluación de los minerales fosfóricos. Se utilizaron las metodologías normalizadas por la unión europea para la determinación de P en rocas. El mismo se realizó en laboratorio con condiciones controladas según normativa de la Comisión de Comunidades Europeas (CCUE, 2001).

1. Metodología de solubilidad en Citrato de amonio

La CCUE (2001), posee dos metodologías de extracción con citrato de amonio, una a temperatura ambiente y otra a baño maría (65°C), las cuales se diferencian en función del material sobre el que se evaluó el contenido de P según la siguiente división.

Mediante el método a 65°C se pudo identificar al fosfato dicálcico precipitado deshidratado ($\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$).

Mediante el método a temperatura ambiente se identificó a los fosfatos disgregados (separados).

Se realizaron ambas, a fin de evaluar cuál de ellas es mejor para la determinación de estos materiales, ya que se desconoce la composición exacta de los mismos.

Mediante la técnica a 65°C, se pesaron 0,2 gr de muestra y se los colocaron en un matraz de 100 ml con 40 ml de citrato de amonio. Se realizó una agitación constante a la temperatura especificada (65°C) durante una hora y media. Luego de este paso se colocaron los matraces a temperatura ambiente y se enrasaron a 100 ml con agua destilada, se mezcló y se filtró, obteniendo un extracto sobre el cual se analizó el P solubilizado mediante la técnica de colorimetría descrita en párrafos siguientes.

Para la técnica a temperatura ambiente se pesó 1 gr de muestra y se lo introdujo en un matraz con 100 ml con citrato de amonio. Estos se agitaron mediante un agitador rotatorio durante dos horas a temperatura ambiente (20°C). Finalmente se filtraron y se obtuvo un extracto sobre el cual se determinó el P solubilizado mediante colorimetría.

2. Cuantificación del P_t

En esta misma etapa se realizó la cuantificación total del P presente en la roca, mediante la acenización a 550°C, solubilización en ácido Nítrico, según Chapman y Pratt (1973).

La cuantificación del P luego de la extracción, para ambas metodologías, se realizó mediante la técnica de colorimetría de meta-vanadato (Sparks, 1996).

Segunda etapa:

Ensayo de laboratorio de solubilidad en suelo:

El mismo constó de los siguientes tratamientos:

- Mineral A
- Mineral B
- Mineral C
- Mineral C + fosfato monoamónico (MAP)
- MAP
- Testigo

Descripción del ensayo

Estos minerales se incubaron con dos suelos seleccionados en función de sus propiedades fisicoquímicas contrastantes (textura, pH, Contenido de Fósforo extractable) los cuales influyen sobre la solubilidad de las rocas. Las características se describen en la tabla N°2.

Ambos suelos seleccionados pertenecen a la zona agrícola de la provincia de Buenos Aires, pero con desarrollos distintos debido a las condiciones climáticas en las que han evolucionado. En Trenque Lauquen el clima es suave, templado cálido con precipitaciones significativas. La temperatura media anual es de 16,1°C y la precipitación es de 700 mm al año. El mes con mayores precipitaciones es marzo, con un promedio de 100 mm, mientras que el mes más seco es agosto con un promedio de 25 mm. A una temperatura media de 24,0°C, enero es el mes más caluroso del año. Julio es el mes más frío, con temperaturas promediando 8,2°C. En General

Belgrano el clima es templado cálido, tiene un régimen de humedad isohigro, con precipitaciones distribuidas a lo largo de todo el año. La temperatura promedio es 15,5 °C y la precipitación media aproximada es de 951 mm. El mes más seco es agosto con 53 mm de precipitación. Con un promedio de 100 mm, la mayor precipitación cae en enero. Con un promedio de 22,8°C, enero es el mes más cálido. Julio tiene la temperatura promedio más baja del año con 9.2°C. (Climate-Data.Org, 2017).

La incubación se realizó colocando en frascos graduados estériles con tapas los diferentes minerales con los distintos suelos. Se mantuvo a 90% de la capacidad de campo y a temperaturas de 40 +/- 5 °C durante un periodo de 90 días.

La aplicación se realizó en una dosis equivalente a 275 kg ha⁻¹ de roca.

La aplicación de MAP se realizó en una relación equivalente a 60 kg ha⁻¹ a fin de simular la aplicación de un contenido de fósforo similar al aportado por las rocas fosfóricas, que según la bibliografía pueden variar del 5% al 10%, tomando el valor mínimo.

El tratamiento MAP+C se realizó con un 50 % de las dosis del mineral y del fertilizante, quedando constituido por 30 kg de MAP y 137,5 kg del mineral C.

Sobre los suelos se midió el contenido de P disponible al inicio y al final por la metodología de BrayKurtz N° 1, a fin de evaluar la capacidad de disponibilidad del P en el corto plazo de las rocas aplicadas. (SAMLA, 2004), (IRAM-SAGyP, 2010).

Determinaciones	Unidades	General Belgrano	Trenque Lauquen
pH Actual		5,5	5,3
C.E.	dS m ⁻¹	0,49	0,32
Nt	%	0,372	0,085
M.O	%	6,43	1,68
C org.	%	3,73	0,98
P disponible	Ppm	47	23
Clase textural		Franco	Franco arenoso
<i>Cationes de intercambio</i>			
Ca ⁺²	Cmol _c .kg ⁻¹	13.2	3,4
Mg ⁺²	Cmol _c .kg ⁻¹	1.2	0,7
Na ⁺	Cmol _c .kg ⁻¹	0.2	0,2
K ⁺	Cmol _c . Kg ⁻¹	2.8	1,2
CIC	Cmol _c . Kg ⁻¹	33,2	9,1
Suma de bases	Cmol _c . Kg ⁻¹	17,4	5,5
Saturación de Bases	%	52,5	60,4

Tabla N°2: Propiedades de los suelos utilizados en los ensayos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos se analizaron mediante ANOVA y las medias se compararon por el test de LSD ($p > 0,05$) en el programa infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

La reactividad de las rocas fosfóricas está determinada por su composición química y puede ser evaluada experimentalmente por su solubilidad en extractantes ácidos diluidos (Campillo, 1991). Dichos ácidos son citrato de amonio a pH 7 y ácido cítrico al 2%. La determinación con citrato de amonio a pH 7 es un índice de solubilidad en el mediano plazo. La solubilidad en ácido cítrico al 2% es un indicador del comportamiento de la roca fosfórica en un medio más ácido. (Sierra, 1990).

Sin embargo, la cantidad de P solubilizado por una determinada solución, no tiene el mismo significado para una roca fosfórica que para un fertilizante manufacturado. La solubilidad del P o la reactividad de una roca fosfatada solamente indica un índice relacionado con la velocidad a la cual la roca se disuelve y se hace disponible para las plantas (Pinilla, 1994).

Solubilidad en citrato de amonio

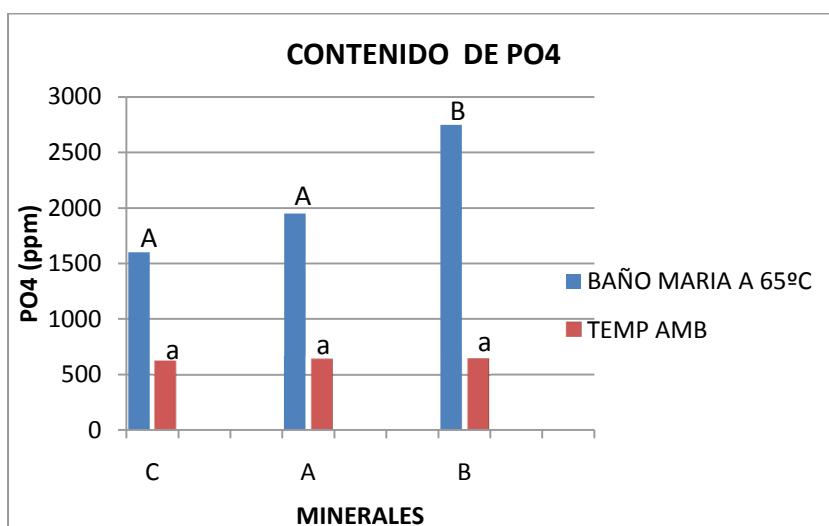


Gráfico N°: 1 Contenido de fosfatos evaluados por dos metodologías de extracción (baño maría a 65°C y a temperatura ambiente). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) para cada uno de los tratamientos.

Como se observa en el gráfico N° 1, la extracción mediante el método a temperatura ambiente en la cual se cuantifica la cantidad de fosfatos disgregados, no presentó diferencias significativas entre tratamientos. Mientras que mediante el método con baño maría, que cuantifica el contenido de fosfato dicalcico precipitado deshidratado, se observa que el mineral B presenta una liberación mayor que los minerales A y C. Esto daría cuenta que el fosfato extraído en este mineral se encuentra mayoritariamente retenido, dentro de las rocas, como fosfato dicalcico precipitado deshidratado según cita la CCUE (2001).

Las rocas presentan un alto contenido de fosfato dicalcico precipitado deshidratado, pero el mismo no estaría dentro de los parámetros necesarios para ser reconocido como roca fosfórica (RF) de aplicación directa. El contenido de fosfato en los depósitos potencialmente utilizables varía entre más del 40% a menos del 5%, valor no alcanzado por ninguno de los materiales ensayados. Es esencial el proceso de remoción de impurezas sobre la muestra total para beneficiar y aumentar la ley del concentrado. El proceso de beneficio generalmente permite una concentración cercana al 1,5x llegando, en algunos yacimientos a una concentración mayor (hasta 9x). Luego de la concentración de la roca fosfática varían su contenido entre 26% hasta 34% de P_2O_5 y alcanza en algunos casos al 42%. (Jarvis *et. al*, 1994).

Si observamos el gráfico N° 2 notamos que el mineral C contiene mayor contenido de P comparado con los minerales A y B. Sin embargo dicho P no es extractable en su totalidad por las técnicas recomendadas por CCUE (2001) citadas en el gráfico N°1.

Asimismo, podemos observar que el contenido de P medido difiere de lo que se cita en la bibliografía para los minerales A y B, esto puede deberse a diferentes metodologías de extracción y cuantificación.

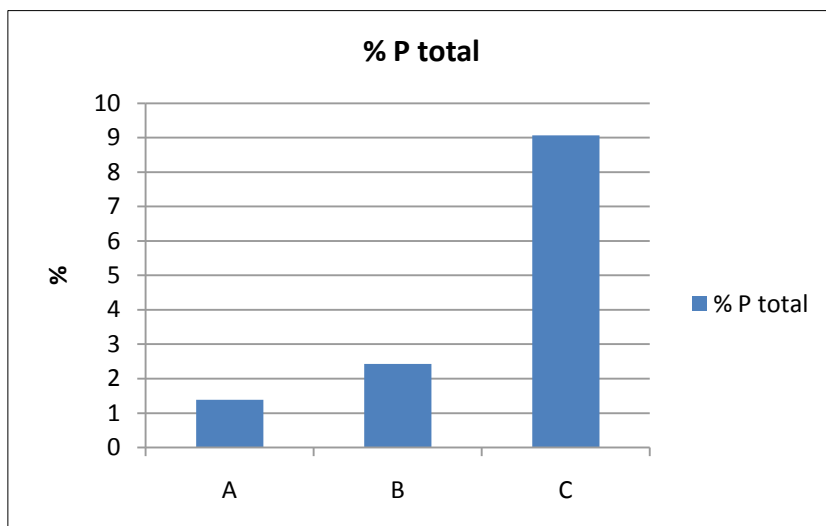


Gráfico N° 2: Porcentaje de Pt de los distintos minerales.

No todas las fuentes de RF sin procesar son adecuadas para su aplicación directa al suelo. Además, muchos suelos no son aptos para el uso de RF. El contenido de P total de un material, no es un buen predictor de la reactividad potencial en el suelo. Por ejemplo, muchas fuentes ígneas de RF con alto contenido de P total, son de baja reactividad y proporcionan un mínimo de nutrición para las plantas porque se disuelven muy lentamente. Sin embargo, en algunas situaciones, los hongos micorrízicos pueden ayudar en la adquisición de P a partir de materiales de baja solubilidad (IPNI, 2018).

Considerando la cantidad de P que contiene el mineral C, y que no ha sido extraíble mediante las técnicas recomendadas por CCUE, (2001), se decidió agregar un tratamiento al ensayo de incubación en suelo, en el cual se colocó junto al mineral C, una dosis de fertilizante MAP para observar su comportamiento.

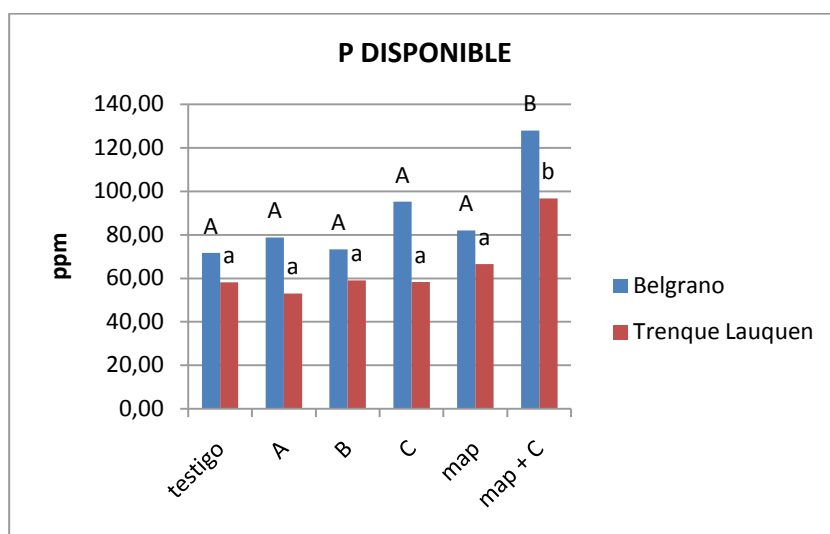


Gráfico N° 3: Contenido de P disponible evaluado por Bray Kurtz N° 1 en ensayo de solubilidad de los minerales en dos suelos distintos, letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para un mismo suelo.

Ensayos realizados en varios países latinoamericanos indican que no siempre se obtienen resultados satisfactorios cuando se aplican directamente rocas fosfóricas molidas (León y Arregocés, 1987). En el gráfico N°3 podemos observar que ningún tratamiento con aplicación de roca sola presentó diferencias con el testigo coincidiendo con León y Arregocés, (1987). Solamente la aplicación del mineral C+MAP mostró diferencias significativas en ambos suelos, siendo más notorio en el suelo de Belgrano. Dentro de los factores de suelo que afectan la efectividad de las rocas fosfóricas se encuentran el pH, calcio, aluminio intercambiable, contenido de fósforo, mineralogía de las arcillas y porcentaje de materia orgánica (Tisdale *et al.*, 1993). Para un efecto favorable en la aplicación de la roca fosfórica el pH debe ser bajo (ácido) menor a 6,5 dado que se ha estimado que el efecto de este material fertilizante a un pH mayor pierde efectividad.

Los contenidos de P hallados por la metodología de Citrato de NH_4 y Pt por calcinación, no se expresaron en los ensayos de incubación, esto puede deberse a que las concentraciones de P soluble en las rocas no son abundantes como en otras rocas fosfóricas de aplicación directa.

La adhesión de MAP a las rocas fosfóricas incrementó la liberación de P, esto puede deberse a que el MAP es un fertilizante que posee, en promedio, 21.8% de P y 10% de nitrógeno. El nitrógeno contenido en el fertilizante está en forma amoniacal, con lo cual una vez en contacto con el suelo es transformado a NO_3^- con la consiguiente liberación de iones hidrógenos (Pierre, 1928). Por otra parte, como ya se mencionó anteriormente la aplicación de fertilizantes fosforados al suelo genera acidez durante la disolución del granulo del fertilizante.

En el caso de los fertilizantes complejos, que aportan más de un nutriente, como es el MAP, la alta solubilidad del fosfato hace que este fertilizante puede utilizarse en toda clase de suelos, aunque su uso está especialmente indicado en suelos de pH elevado, por su carácter acidificante. (Ginés y Mariscal-Sancho, 2002).

En el Grafico N°3 también se puede observar que en el suelo de Belgrano los aportes de roca tendieron a aumentar el contenido de Fósforo extractable (aunque estadísticamente no fue significativo), lo que no ocurre en Trenque Lauquen esto probablemente se deba a la gran cantidad de MO que posee el primer suelo, lo que ayudaría a la solubilización del P contenido en las rocas. Una de las propiedades de los suelos que incrementa la disolución de la roca fosfórica y su disponibilidad para las plantas es la materia orgánica del suelo (Johnston, 1954b; Chien et al., 1990b). Esto parece ser la resultante de (i) la alta capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica, (ii) la formación de complejos Ca-materia orgánica y, (iii) la presencia de ácidos orgánicos que disuelven la roca fosfórica y bloquean los sitios de retención (adsorción) del P en el suelo. (FAO, 2007).

Debido a que la disolución de la RF también libera calcio (Ca), en los suelos que inicialmente tienen un contenido alto de este mineral la disolución es normalmente más lenta, como consecuencia de la ley de acción de masas. En muchos suelos tropicales el contenido de Ca es bajo y, por esta razón, presentan condiciones más favorables para la disolución de la RF. Se considera que el mecanismo para que la RF se disuelva mejor es la formación de complejos químicos entre la materia orgánica y el Ca. (Chien, 2003).

CONCLUSIÓN:

El contenido de Pt de los minerales analizados no fue predictor de la reactividad potencial en el suelo.

Una alta riqueza de Pt no asegura la utilización directa de la roca como fertilizante en el corto y mediano plazo.

Ninguna de las rocas fosfóricas analizadas alcanzó el contenido de fosfato, extractables por métodos ácidos, para ser utilizado como de aplicación directa.

La aplicación de rocas fosfóricas junto con fertilizantes amoniacales favorece la disponibilidad del P.

Debido a la escasa cantidad de depósitos argentinos potencialmente utilizables como fertilizante, sería interesante analizar el uso de rocas fosfóricas como fertilizantes de liberación lenta.

BIBLIOGRAFÍA

- **Campillo** 1991. Utilización de roca fosfórica Carolina del Norte en fertilización de praderas. *Investigación y progreso agropecuario*. Carillanca (Chile) 10 (4): 9-12.
- **Chapman H. D. y Pratt P. F.** 1973. *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. 195 pp.
- **Comisión de comunidades europeas (CCUE, 2001)**. Reglamento del parlamento europeo y del consejo. Volumen 3.
- **Chien, S.H. y Hammond, L.L.** 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rock for direct application. *SoilSci. Soc. Am. J.*, 42: 1758–1760.
- **Chien, S.H., Sale, P.W.G. y Hammond, L.L.** 1990b. Comparison of effectiveness of various phosphate fertilizer products. In: Proceedings of international symposium on phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania, pp. 143–156. Manila, IRRI.
- **Chien, S.H.** 2003. Factors Affecting the Agronomic Effectiveness of Phosphate Rock for Direct Application. In *Direct Application of Phosphate Rock and Related Technology: Latest Development and Practical Experiences*, pp. 50-62, (S.S.S. Rajan and S.H. Chien, ed.). Special Publications IFDC-SP-37, IFDC, Muscle Shoals, Alabama.
- **CLIMATE-DATA.ORG.** 2017 <https://es.climate-data.org/location/19768/> . (último acceso octubre 2017).
- **FAO**, 2007, “Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible”, 13 Boletines FAO Fertilizantes y nutrición vegetal. 177 p.
- **García F.O., L.I. Picone y A. Berardo.** 2005. Capítulo 5: Fósforo. En: *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Echeverría H.E. y García F.O. (Eds.). 99-121. INTA.

- **Gay, H.D.** 1964. Fosfatos de las pegmatitas del Cerro Blanco. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 23: 279-287.
- **Ginés, I., y Mariscal-Sancho, I.** 2002. Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Disponible en: (último acceso abril 018). http://oa.upm.es/3176/2/MARISCAL_MONO_2002_01.pdf.
- **IPNI.** Boletín técnico, roca fosfórica N°19 [http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/87987AB4CE177BBC85257BBA0059D2C2/\\$FILE/NSS-ES-19.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/87987AB4CE177BBC85257BBA0059D2C2/$FILE/NSS-ES-19.pdf) (último acceso abril 2018).
- **IRAM-SAGyP,** 2010. Norma argentina. Calidad ambiental - calidad del suelo. Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1. Referencia numérica: 29570-1:2010.
- **Jarvis, I., Burnett, W., Nathan, J., Almabaydin, F., Attia, A., Castro L., Husain, V.; Qutawna, A. y Zanin Y.,** 1994. Phosphorites geochemistry. State of the art environmental concern. Eclogae Geologiae Helvetiae Journal of Swiss Geologicae Society. 87(3): 643-700. Zurich, Suiza.
- **Johnston, H.W.** 1954b. The solubilization of “insoluble” phosphate. III – A quantitative and comparative study of the action of chosen aromatic acids on tricalcium phosphate. N. Z. J. Sci. Tech. B., 36: 281–284.
- **León, L.A. y O. Arregocés** (Ed.) 1987. Alternativas Sobre el Uso como Fertilizantes de Fosfatos Nativos en América Tropical y Subtropical. Memorias del Seminario Celebrado en CIAT, Colombia, 4 a 6 de noviembre, 1987. CIID, IFDC, CIAT, Documento de Trabajo No. 46. CIAT, Cali, Colombia.
- **Lopez de Azarevich, V.L.; Schalamuk, S; Azarevich, M.B; Otero, J.I; Landoni, P** (2016). Rocas fosfóricas de río Capillas, provincia de Jujuy. Alternativas para su aplicación directa. Acta Geológica Lilloana 28: 183-190

- **Vázquez, M.E.** 2002. Balance y Fertilidad Fosforada en Suelos Productivos de la Región Pampeana. (publicado en informaciones Agronómicas del Cono Sur, N°16, diciembre)
- **Pierre, W. H.** 1928. Nitrogen fertilizers and soil acidity: I. Effect of various nitrogenous fertilizers on soil reaction. J. American Society of Agronomy. 20:254- 269.
- **Pinilla, H.** 1994. Uso de roca fosfórica parcialmente acidulada en suelos de la zona sur. Frontera Agrícola, Chile. 2(1): 51-60.
- **SAMLA. SAGPyA,** 2004. Sistema de apoyo metodológico a laboratorios de suelos, aguas y vegetales y enmiendas orgánicas. Secretaria de agricultura, ganadería, pesca y alimentación.
- **Schalamuk, S., Otero, J.I., Sy, V., Velazquez, S.** 2014. Rocas fosfóricas del Grupo Río Chico (Chubut): alternativas para su aplicación directa. XIV Reunión Argentina de Sedimentología. Puerto Madryn.
- **SIERRA, C.** 1990. Rocas Fosfóricas: Nueva fuente de fósforo para praderas y cultivos. Boletín Técnico INIA, Remehue, Chile. N°159. 9p.
- **Sparks D. I.** 1996. Methods of Soil Analysis. Soil Science Society and American Society of Agronomy Book. Series: 5. Part 3. Pp 1123 – 1184.
- **Suñer L. y Galantini J. A.** 2013. El fósforo en agroecosistemas de Argentina. <http://www.boletin.cerzos-conicet.gob.ar/index.php/articulos/el-fosforo-en-agroecosistemas-de-argentina>. (último acceso julio 2017)
- **Suñer L. G. y J. A. Galantini.** 2012. Fertilización fosforada en suelos cultivados con trigo de la región pampeana. Ciencia del Suelo 30(1) 57-66.
- **US Geological Survey.** 2006. Mineral commodity summaries 2006. U.S. Department of the interior. Gale A. Norton, Secretary. 199 pp.