

# **“Caracterización y manejo de fosforitas en agroecosistemas: ¿Qué sabemos y nos falta conocer?”**



**Martín Torres Duggan**

Tecnoagro; EPG-FAUBA





## ¿De qué trata la conferencia?

### Ejes temáticos

1. ¿Cómo evaluar la calidad agronómica de las fosforitas de aplicación directa?
2. Resultados de experimentos en invernáculo y a campo para evaluar la eficiencia agronómica de la fosforita de Bahía Inglesa (Chile) en suelos argentinos
3. Panorama actual y tendencias de uso de fosforitas en el Cono Sur; vacíos de conocimiento científico y tecnológico.





**XXVIII**  
Congreso  
Argentino  
de la Ciencia  
del Suelo  
Buenos Aires 2022



*Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente*



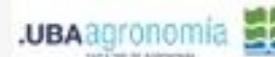
## EJE TEMÁTICO 1:

# Calidad agronómica de fosforitas para aplicación directa



Del 15 al 18 de noviembre de 2022  
[congreso2022.suelos.org.ar](http://congreso2022.suelos.org.ar)

Co-organizado por:





## ¿De qué factores depende la efectividad agronómica de la fosforita?

### 1. Características de la fosforita

- Mineralogía y propiedades cristaloquímicas
- P soluble en ácidos orgánicos
- Granulometría

### 2. Características del suelo

- Mineralogía (tipo y cantidad de arcillas)
- MO
- pH y contenido de bases
- Concentración de P extraíble

### 3. Ambiente productivo

- Clima (temperatura, precipitaciones)
- Sistema de manejo (e.g. SD, LC, etc.)
- Especie cultivada

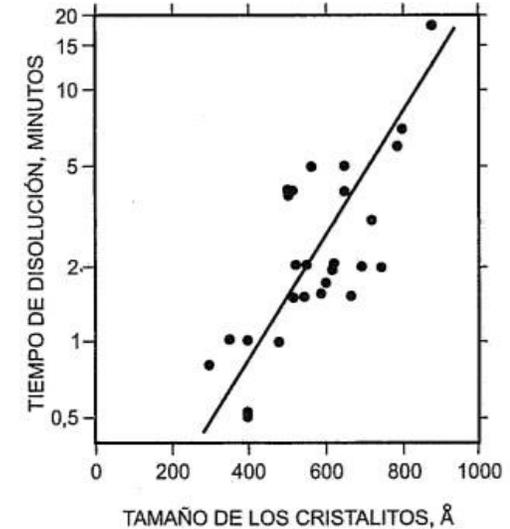
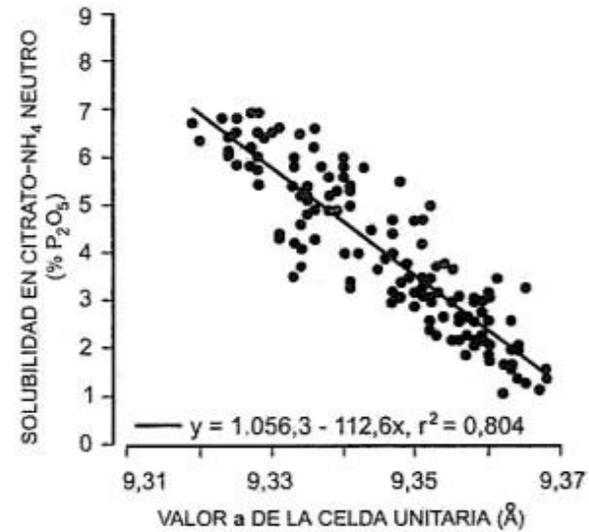
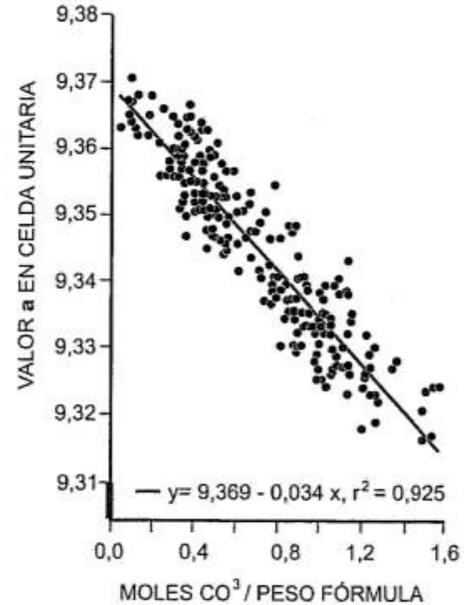
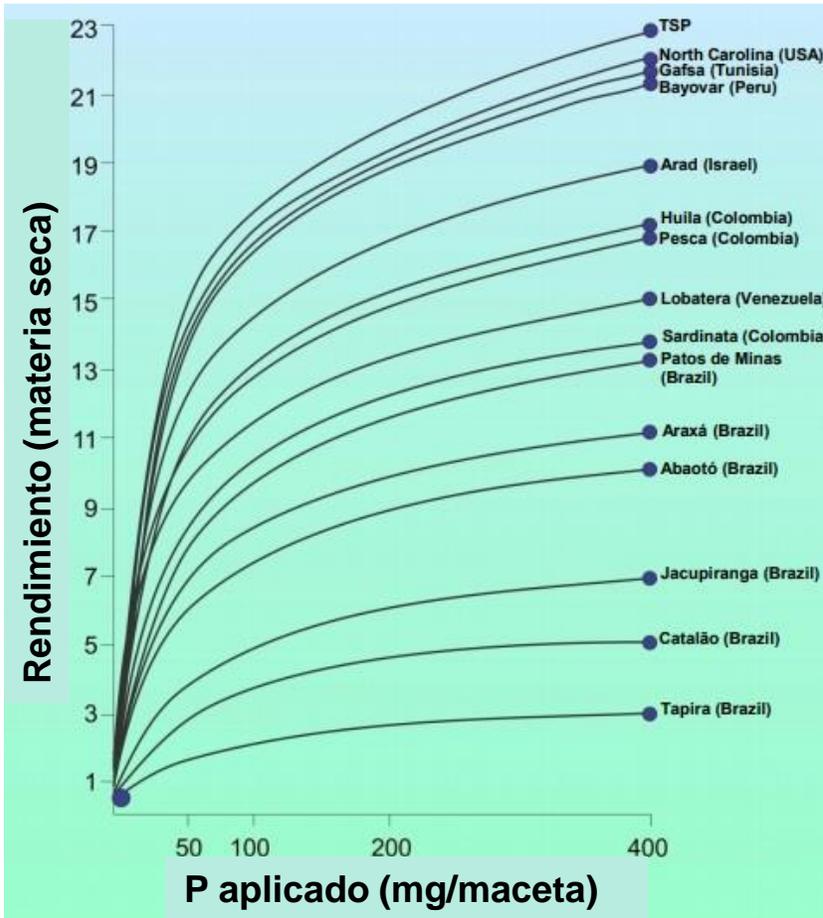
### 4. Tecnología de aplicación

- Dosis
- Forma de aplicación
- Momento de aplicación





## Caracterización de roca fosfórica (fosforita) para uso agronómico



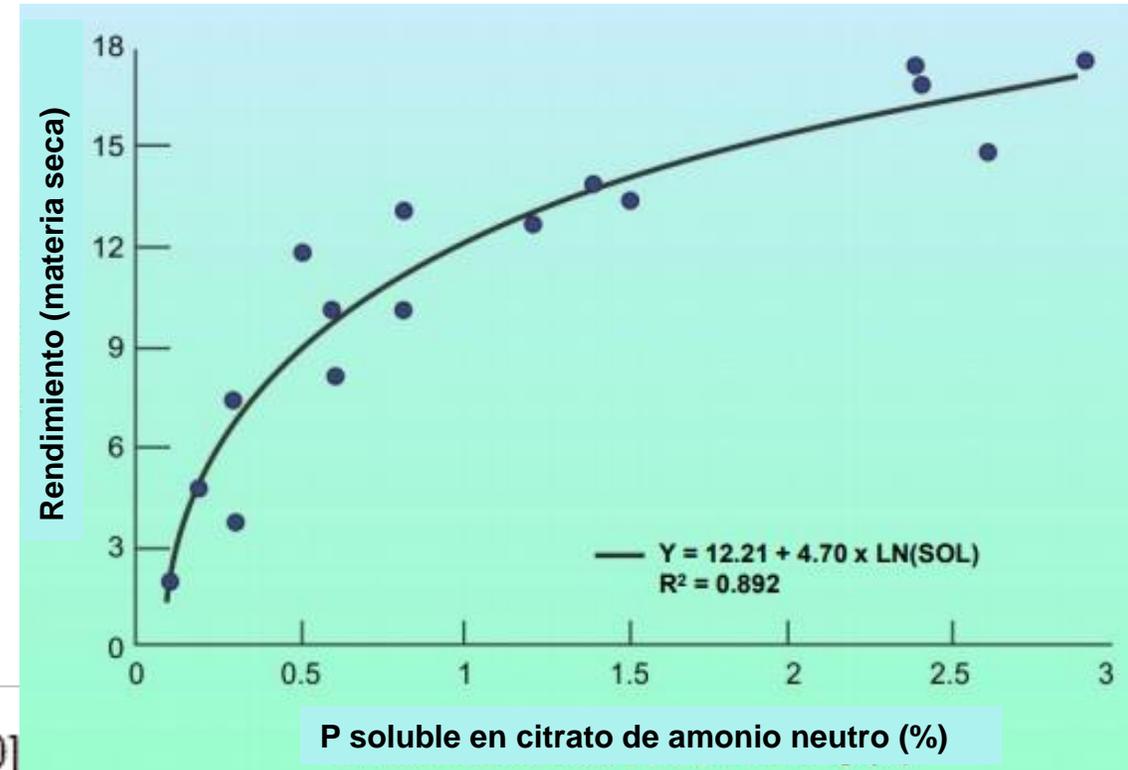


## Aptitud agronómica de la roca fosfórica según su contenido de P soluble en citrato de amonio neutro (CAN)

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> soluble CAN	EAR (%)	Clasificación
> 5.9	>90	Alta
3.4-5.9	90-70	Media
1.1-3.4	70-30	Baja
<1.1	<30	Muy baja

$$RAE = \left[ \frac{(\text{Dry matter with PR} - \text{Dry matter in check treatment})}{(\text{Dry matter with TSP} - \text{Dry matter in check treatment})} \times 100 \right]$$

Besoain et al. (1999)



Leon et al. (1986)

# Análisis de laboratorio para predecir el potencial agronómico de fosforitas de aplicación directa

## A Comparison of Various Laboratory Methods for Predicting the Agronomic Potential of Phosphate Rocks for Direct Application<sup>1</sup> [ ]

100 S.H. CHIEN AND L. L. HAMMOND<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The reactivity of seven phosphate rocks was estimated by five methods (neutral ammonium citrate first and second extractions, 2% citric acid, 2% formic acid, ammonium citrate pH 3, and absolute citrate solubility). These measurements were evaluated by crop response data obtained from a greenhouse experiment with guinea grass (*Panicum maximum*) and a field experiment with beans (*Phaseolus Vulgaris* L.), both on acid Colombian soils. Neutral ammonium citrate (second extraction), 2% formic acid, and ammonium citrate pH 3 solubilities were best correlated with these agronomic data.

Factors such as: (i) calcite depression of apatite solubility in neutral ammonium citrate, (ii) the "grade" effect (total P content) on the apparent solubility, and (iii) the textural effect of apatite-silica intermixing, need to be considered when correlations of chemical reactivity of the various phosphate rocks and their agronomic effectiveness are compared.

*Additional Index Words:* solubility of apatite.

Chien, S. H., and L. L. Hammond. 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:935-939.

THE REACTIVITY of phosphate rocks utilized for direct application varies with mineral composition (Caro and Hill, 1956; Lehr and McClellan, 1972; Olsen, 1975; Chien and Black, 1976; Chien, 1977a, 1977b). The solubility of P in a phosphate rock source can be used as an index of its

<sup>1</sup>Contribution from the Fertilizer Technology and Agro-Economic Divisions, International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, AL 35660 Received 28 Mar. 1978. Approved 21 June 1978.

<sup>2</sup>Research Chemist (Soils) and Soil Scientist, respectively.

reactivity. The agronomic potential of phosphate rocks has been related to the P solubility in neutral ammonium citrate (Armiger and Fried, 1957; Terman et al., 1970; Bengtson et al., 1974; Engelstad et al., 1974), 2% citric acid (Armiger and Fried, 1957), and 2% formic acid (Hoffman and Mager, 1953). In the United States, the official method of phosphate rock evaluation measures P solubility in neutral ammonium citrate, while 2% citric acid is utilized in Brazil and 2% formic acid is the standard solvent in the European Common Market.

In 1972 Lehr and McClellan proposed the use of absolute citrate solubility (ACS) as a method of expressing solubilities on a uniform basis. Engelstad et al. (1974) reported that ACS indices were better correlated than the conventional citrate solubility data with the response data from flooded rice to various phosphate rocks. Unpublished work from the International Fertilizer Development Center (IFDC) and the Tennessee Valley Authority (TVA) also showed that ammonium citrate pH 3 was a potentially effective solvent for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application.

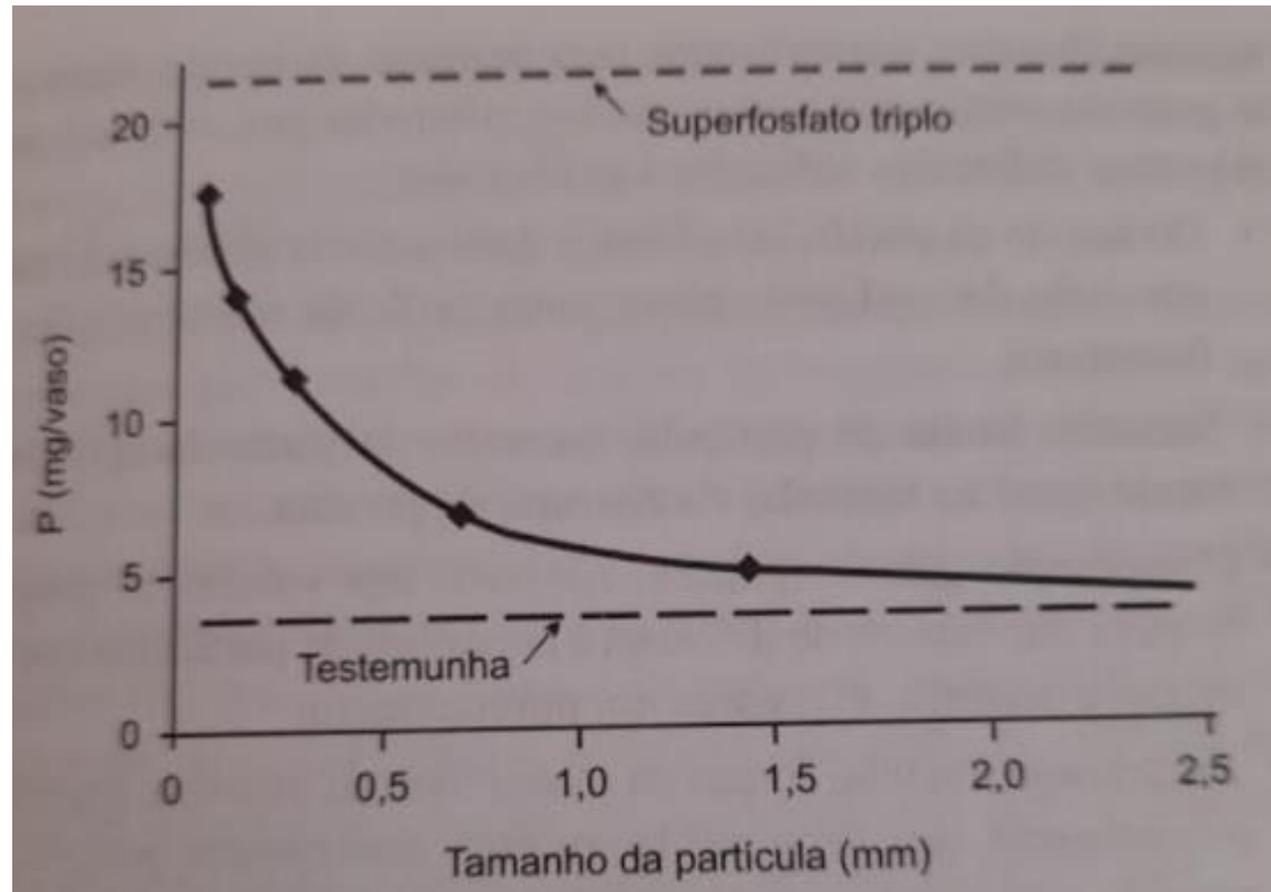
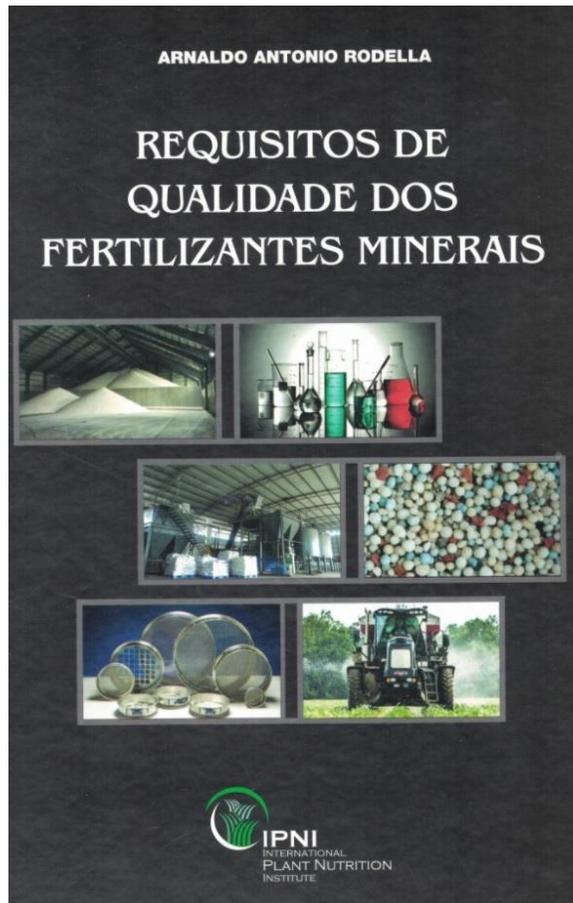
This report discusses a comparison of the relation between these five laboratory methods for reactivity measurement and agronomic response data obtained from greenhouse and field experiments in Colombia.

### MATERIALS AND METHODS

Seven phosphate rocks varying widely in reactivity and source were evaluated. These were: Huila and Pesca, Colombia; Se-



## ¿Cómo afecta el tipo de fuente fosfatada y la granulometría la biodisponibilidad de P?





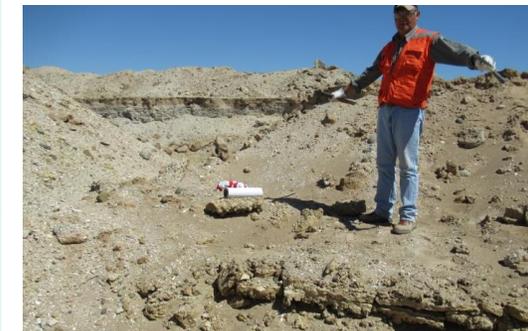
## EJE TEMÁTICO 2:

# Resultados de investigaciones recientes de evaluación de fosforitas reactivas de Bahía Inglesa (Chile) en suelos argentinos



# Resumen de fosforitas de Bahía Inglesa (Chile)

Atributo	Características
Clasificación mineralógica	Francolita (carbonato fluorapatita)
Relación $\text{CO}_3:\text{PO}_4$	0,23
Tamaño de los cristales (longitud del eje a. en Armstrongs)	9,328
Contenido de $\text{P}_2\text{O}_5$	19-22%
Concentración de Cd	2 ppm (análisis en muestras realizados por SENASA en Argentina)
Reactividad en suelos argentinos (***)	Alta-Muy alta
Efecto encalado (Eficiencia agronómica relativa al carbonato de calcio)(EAR)(**)	89%
Granulometría (*)	<0,42 mm (malla Tyler N°40)=3,8% <0,149 mm (malla Tyler N°100)=14,8% <0,074 mm (malla Tyler N° 200)=81,4%
Antecedentes académicos de evaluación agronómica en suelos argentinos	Sí



Elaboración propia en base a Zapata y Roy (2007); Lavado (2020) y Besoain et al. (1999). (\*) Los datos de granulometría de la fosforita de Bifox son de SENASA (2022) (\*\*) en suelo Ultisol de EE.UU (pH=4,5). (\*\*\*) en base a experimentos conducidos en invernáculo ya campo en Argiudoles y Vertisoles.



XXVIII  
Congreso  
Argentino  
de la Ciencia  
del Suelo  
Buenos Aires 2022



Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

## APTITUD AGRONÓMICA DE LA ROCA FOSFÓRICA DE BAHIA INGLESA (CHILE) EN SUELOS ARGENTINOS

Torres Duggan, M.<sup>1</sup>, M. Tysko<sup>2</sup>, C. Quintero<sup>3</sup>, M. A. Zamero<sup>3</sup> y M. R. Befani<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Tecnoagro, A. Girradot 1331 (1427), CABA; [mijtorresduggan@gmail.com](mailto:mijtorresduggan@gmail.com); <sup>2</sup>Dpto. de Cs. Básicas, Universidad Nacional de Luján, [myskot@gmail.com](mailto:myskot@gmail.com); <sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Ruta 11 km 10.5 Oro Verde. Entre Ríos, 3100; [cesar.quintero@fca.uner.edu.ar](mailto:cesar.quintero@fca.uner.edu.ar)

### RESUMEN

La roca fosfórica (RF) chilena proveniente de la región de Bahía Inglesa (RFBI) presenta una muy alta eficiencia agronómica para aplicación directa en diversos cultivos forrajeros y de grano en suelos Andisoles y/o Ultisoles. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de la RFBI relativa a una francolita de mineralogía similar (RF del desierto de Sechura en Perú (RFS), y una fuente fosfatada soluble de referencia (superfosfato triple, SFT) en raigrás perenne (*Lolium perenne* L) cultivada en macetas y en suelos representativos de la Pampa Ondulada y la Mesopotamia argentina. En términos generales, la RFBI presentó similar o superior eficiencia agronómica en términos de producción de MS relativa a la RFS o el SFT independientemente del pH del suelo. Sin embargo, la absorción de P acumulada en la biomasa del raigrás perenne fue superior en suelo fuertemente ácido comparado con el observado en el suelo neutro (i.e. mayor disolución en medio ácido). Los resultados fueron consistentes con los reportados en la literatura chilena, indicando que la RFBI presenta una adecuada calidad agronómica para ser utilizada en aplicación directa en suelos Molisoles y bajo condiciones de acidez contrastantes.

**PALABRAS CLAVE:** roca fosfórica, fósforo, fertilización



XXVIII  
Congreso  
Argentino  
de la Ciencia  
del Suelo  
Buenos Aires 2022



Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

## FERTILIZACIÓN CON ROCA FOSFÓRICA DE BAHÍA INLGESA (CHILE) EN EL CULTIVO DE SOJA EN LA PAMPA ONDULADA

Torres Duggan, M.<sup>1</sup> y M. Tysko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tecnoagro, A. Girradot 1331 (1427), CABA; [mijtorresduggan@gmail.com](mailto:mijtorresduggan@gmail.com); <sup>2</sup>Dpto. de Cs. Básicas, Universidad Nacional de Luján, [myskot@gmail.com](mailto:myskot@gmail.com)

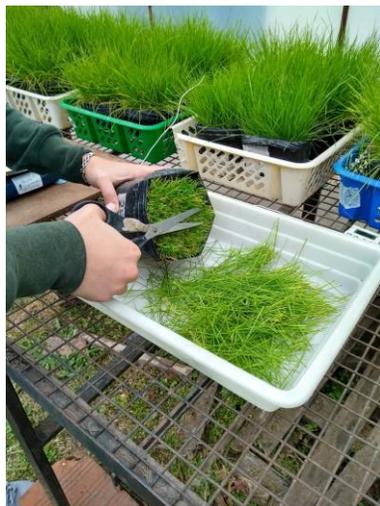
### RESUMEN

La roca fosfórica o fosfática (RF) representa un recurso valioso dentro del manejo de la fertilización fosfatada en agroecosistemas. Dentro de los fosfatos naturales, la RF proveniente de la región de Bahía Inglesa en Chile (RFBI), se considera una de los más reactivas del mundo. La misma fue extensamente evaluada en suelos ácidos de origen volcánico de Chile (e.g. Andisoles y Ultisoles) mostrando una muy alta eficiencia agronómica relativa a fuentes fosfatadas solubles en agua. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con la RFBI (granulometría 93.6% de masa menor <0.149 mm) relativa a una fuente soluble en agua (SFT granulado) en el cultivo de soja [*Glycine max* L (Merr)]. El experimento se instaló en un suelo Argiudol típico con reacción fuertemente ácida ubicado en la Pampa Ondulada argentina (pH=5.57; CO=18.6 g kg<sup>-1</sup>; P-Bray 1=10.8 mg kg<sup>-1</sup>). El experimento fue a campo, en microparcels aplicando un diseño en DBCA con 4 repeticiones. Los fertilizantes se aplicaron en bandas a la siembra. La respuesta a la fertilización fosfatada fue de 17 y 22% para el SFT y la RFBI en la dosis de 17 kg de P ha<sup>-1</sup> mientras que en la dosis de 25 kg de P ha<sup>-1</sup> el incremento del rendimiento en grano de la soja fue de 19% tanto con el SFT como con la RFBI. Al comparar las respuestas entre el SFT y la RFBI para cada nivel de dosis de P, no se detectaron diferencias significativas (p>0.05) entre fuentes, reflejando similar capacidad para aportar P disponible al cultivo de soja. Las características mineralógicas y cristal químicas de la RFBI (alta sustitución isomórfica de carbonatos por fosfatos) y su aplicación en un suelo fuertemente ácido y deficiente en P extraíble, explicaría la elevada eficiencia agronómica de la fosforita relativa al SFT.



Experimentos en macetas con Raigrás perenne en dos tipos de suelos (fuertemente ácido y neutro) y tres dosis de P

Conducción del ensayo: Dr. César Quinteros y colaboradores, UNER)



Experimentos en macetas con Raigrás perenne en un Molisol de Buenos Aires, y tres dosis de P

Conducción del ensayo: Dra. Mónica Tysko y colaboradores (UNL)



Experimento a campo en soja sobre suelo Arguidol  
(pH=5,5)

Conducción del ensayo: Dra. Monica Tysko y  
colaboradores (UNL)

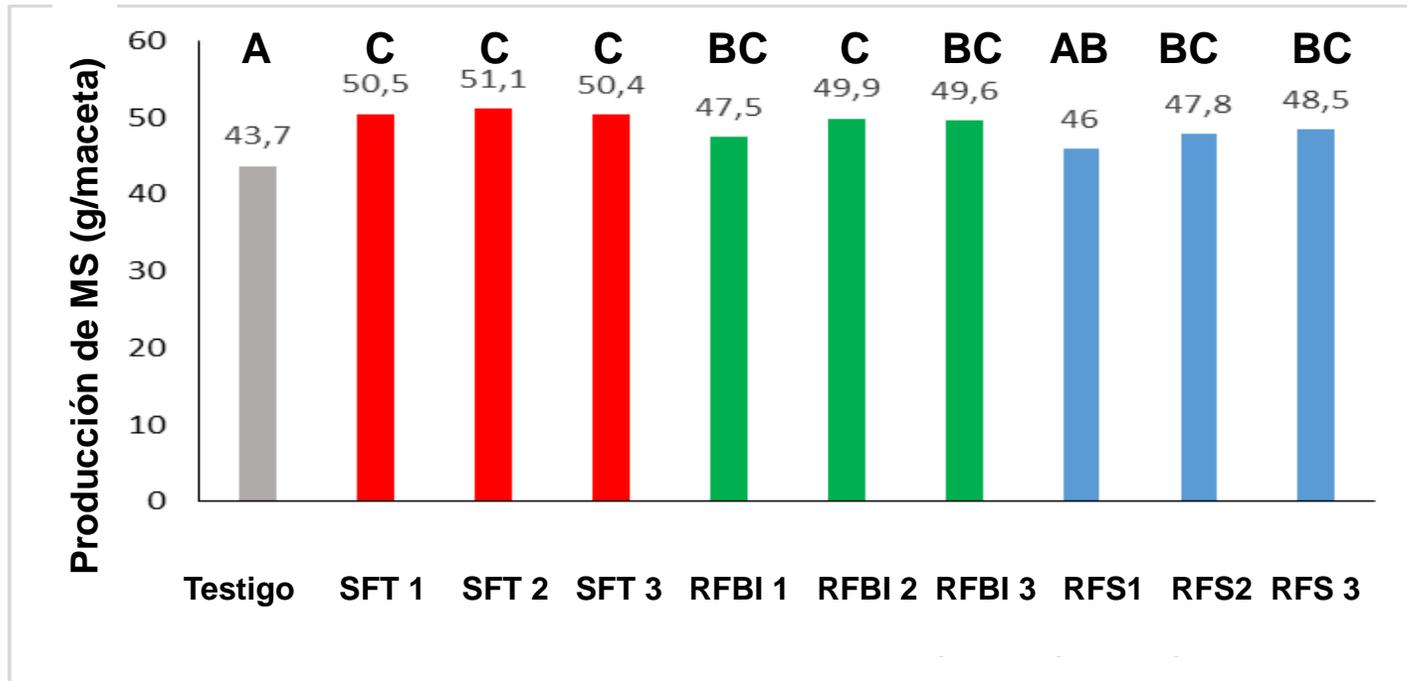


Experimento a campo con Lespedeza (*Kummerowia  
striata* cv. Kaloe) en suelo con  
pH=6,0

Conducción del ensayo: Ing. Agr. MSc. Enrique Figueroa  
y colaboradores (INTA Mercedes)



## Producción de materia seca aérea en suelos con pH neutro (Entre Ríos)

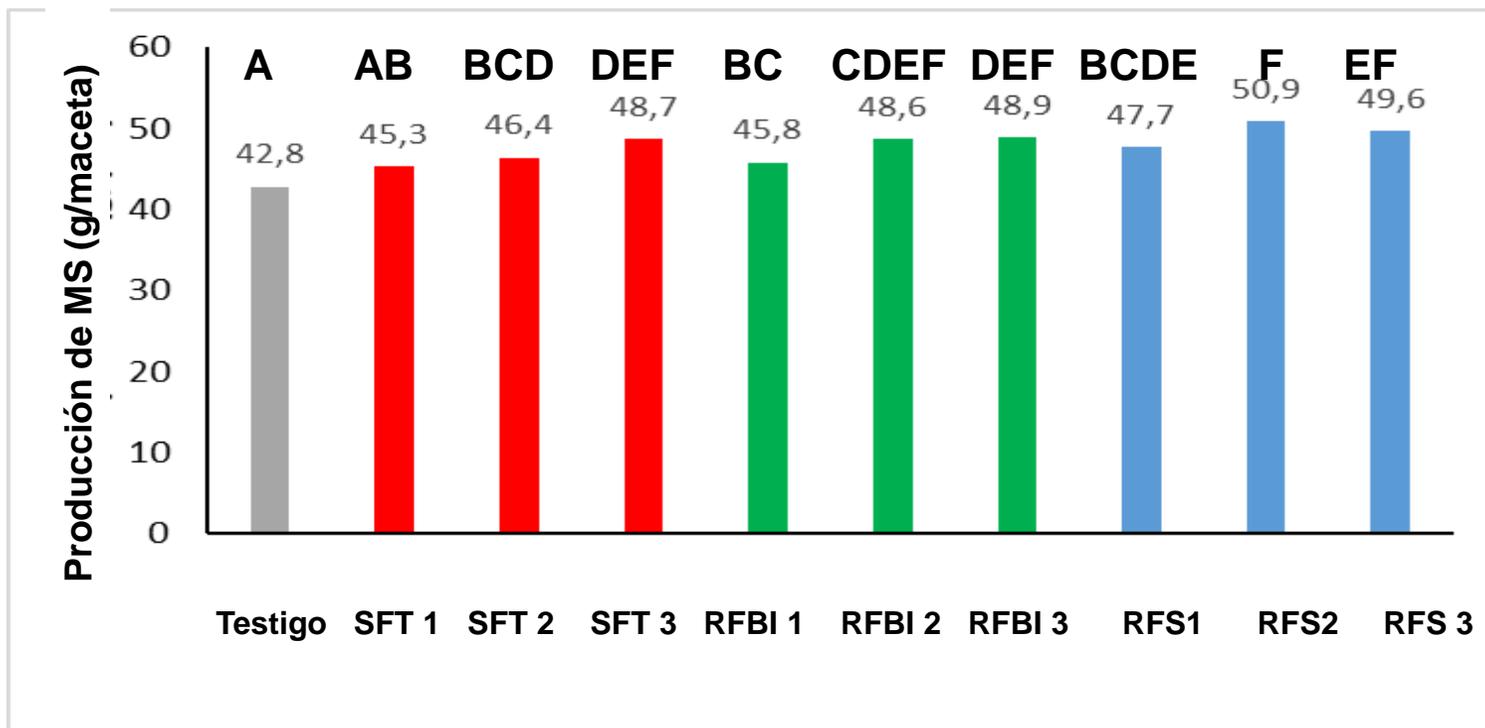


Vista del suelo de Entre Ríos utilizado en el ensayo

- ✓ Respuesta del 12 y 7,5% en producción de MS sobre el testigo para la RFBI y RFS, respectivamente
- ✓ Si bien la respuesta a SFT fue levemente superior a la obtenida con las fosforitas, las diferencias en producción acumulada de MS del raigrás fertilizado con SFT no difirió significativamente del observado con las fosforitas



## Producción de materia seca aérea en suelos con pH fuertemente ácido (Corrientes)



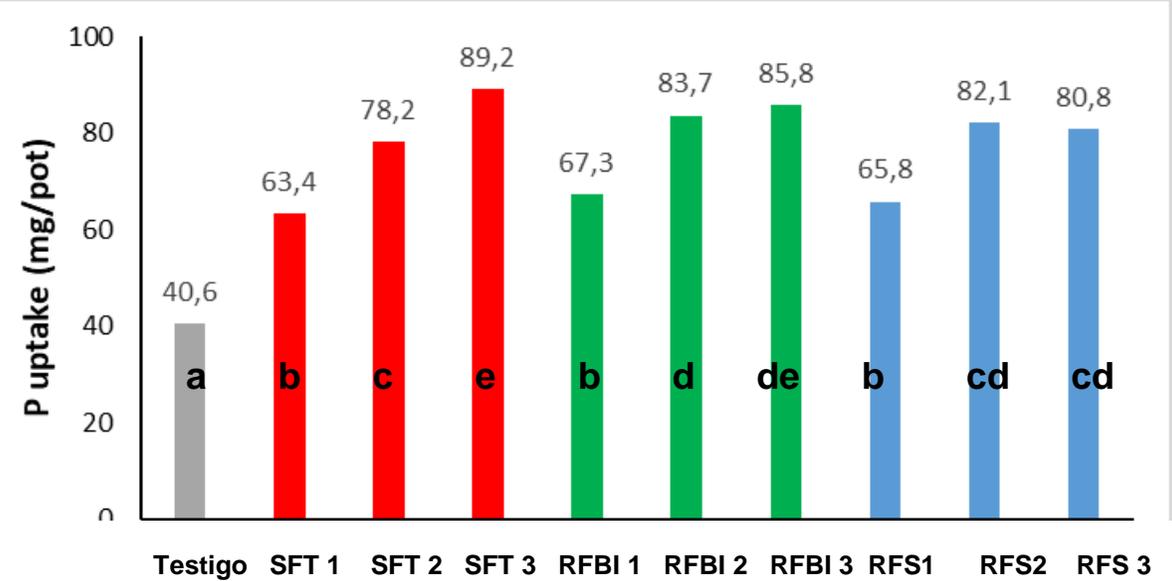
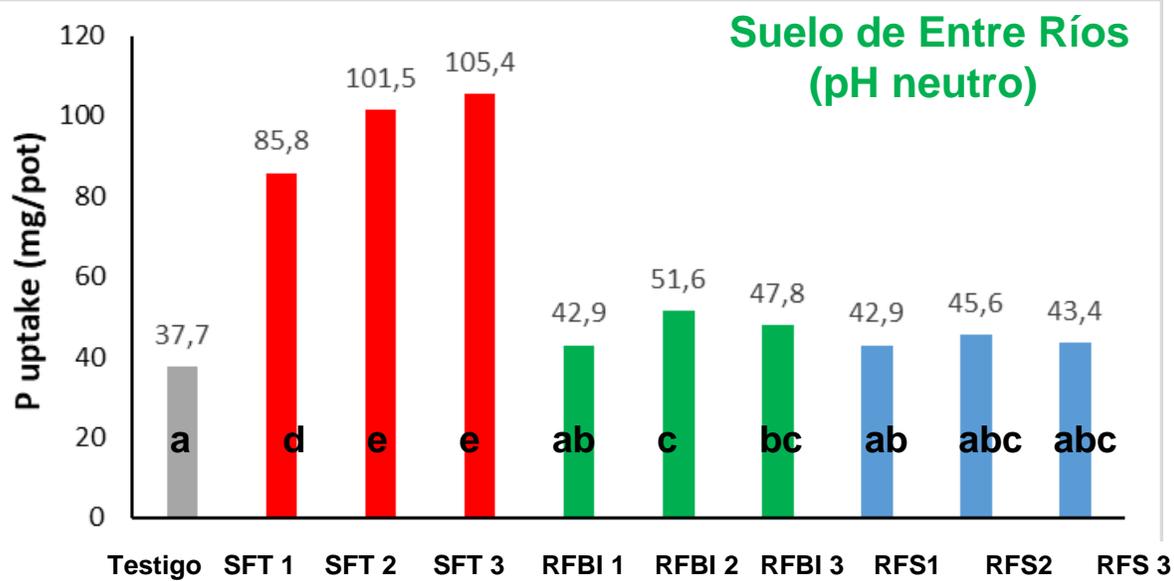
Vista del suelo de Corrientes utilizado en el experimento

- ✓ Mayor respuesta a la aplicación de fosforitas (+ 13,2% sobre el testigo), comparado con el SFT (+9,3% sobre el testigo), debido a la mayor disolución de las RF's en medio moderadamente ácido
- ✓ Similar efectividad agronómica (i.e. respuesta a la fertilización) entre fosforitas



## ¿Cómo fue la absorción de P?

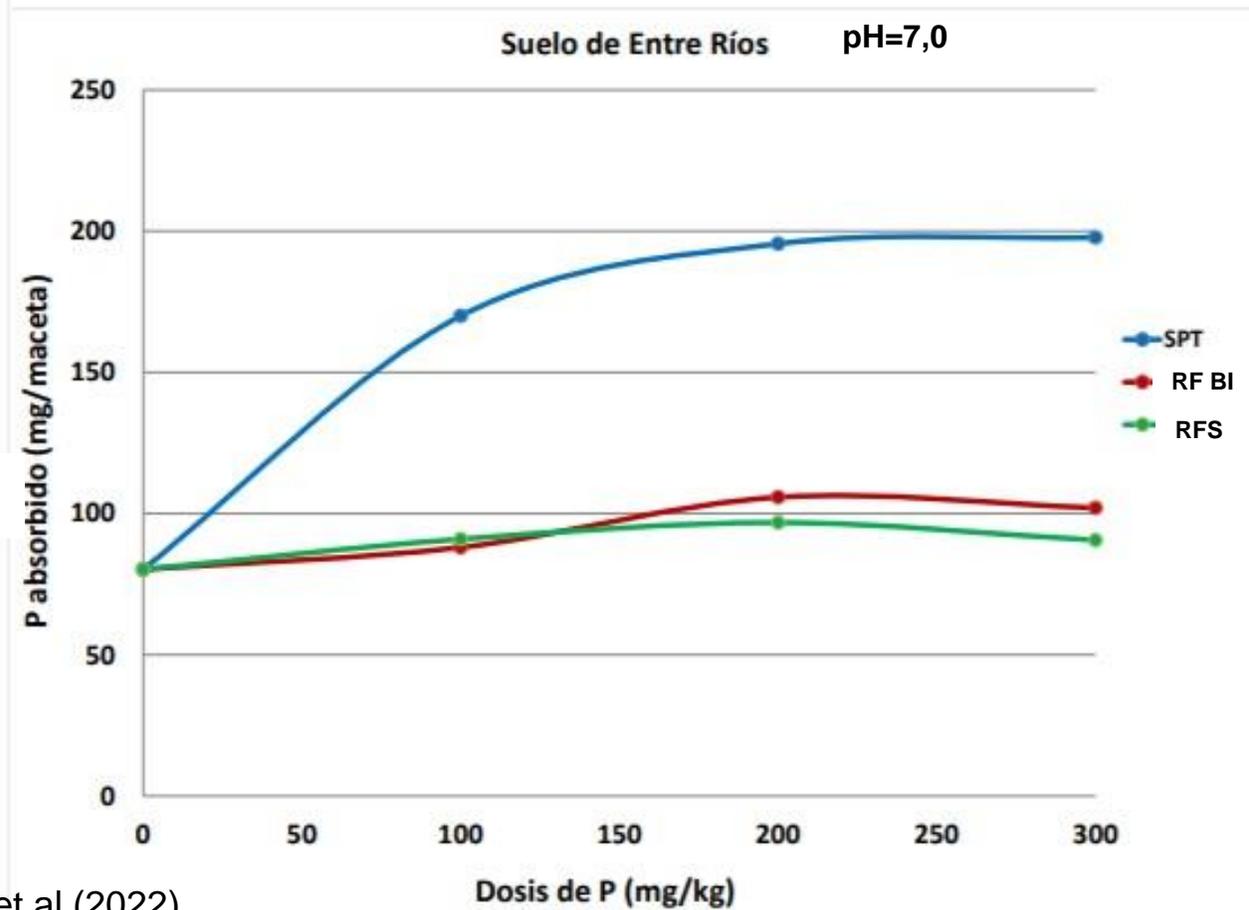
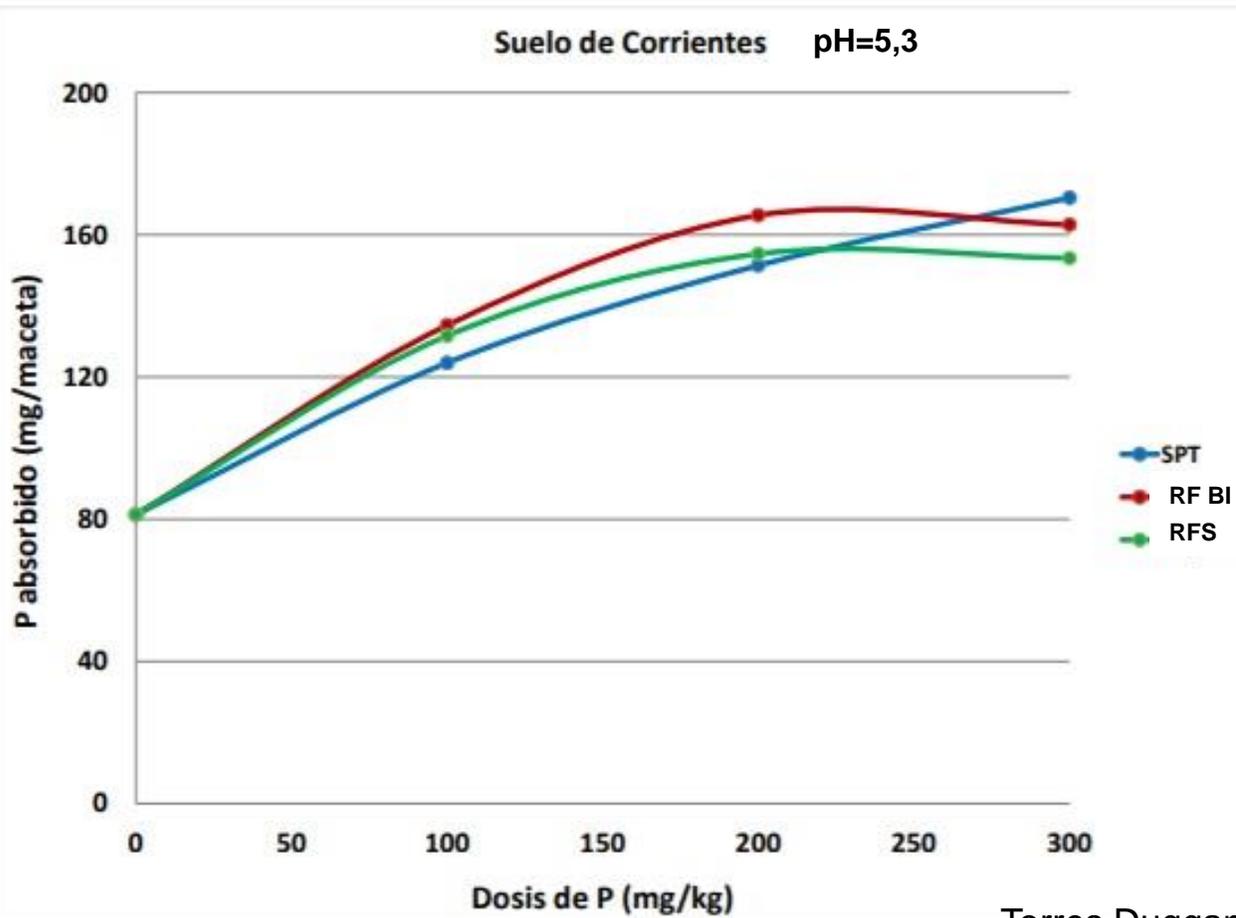
### Suelo de Corrientes (pH fuertemente ácido)



- ✓ En suelo neutro (Entre Ríos), el raigrás fertilizado con SFT absorbió más P (+158%) que con las fosforitas
- ✓ En suelo neutro la aplicación de la RF de Bahía Inglesa aumentó significativamente la absorción de P del raigrás en relación al suelo no fertilizado, resultado no observado con la fosforita de Sechura
- ✓ En el suelo fuertemente ácido (Corrientes), la absorción de P del raigrás perenne no difirió entre fuentes de P y las fosforitas mostraron una elevada capacidad para aportar P

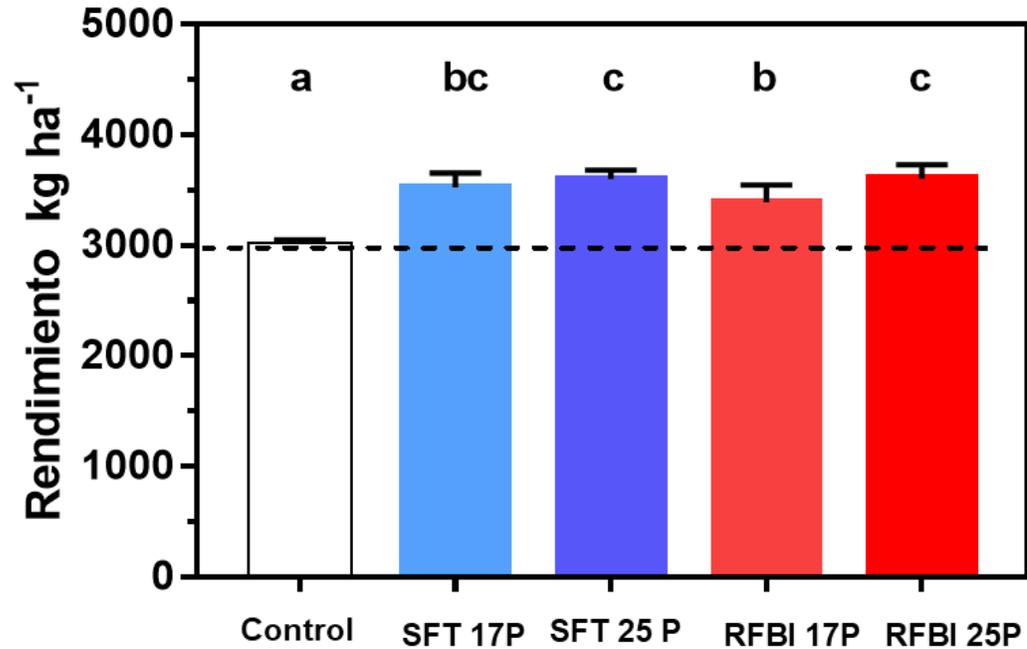


## Absorción de P en raigrás perenne: efectos de dosis de P, y fuente fosfatada





## Respuesta a la aplicación de la fosforita de Bahía Inglesa (Chile) en soja



Características del suelo

Analito	Método	Resultado	Unidad
pH <sub>1:2.5</sub>	Potenciometría	5.57	-
CE <sub>1:2.5</sub>	Conductimetría	0.082	dS.m <sup>-1</sup>
CO	Walkley & Black	18.6	g. kg <sup>-1</sup>
CIC	Acetato de amonio a pH=7.0	17.3	cmol <sub>c</sub> kg de suelo <sup>-1</sup>
P extraíble	Bray 1	10.8	mg.kg <sup>-1</sup>

CE: conductividad eléctrica, CO: carbono orgánico, NO: nitrógeno total, P: fosforo extractable.



**XXVIII**  
Congreso  
Argentino  
de la Ciencia  
del Suelo  
Buenos Aires 2022



*Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente*



## EJE TEMÁTICO 3:

**Perspectivas del uso de fosforitas en la agricultura y brechas de conocimiento científico.**



Del 15 al 18 de noviembre de 2022  
[congreso2022.suelos.org.ar](http://congreso2022.suelos.org.ar)

Co-organizado por:





## Panorama y tendencias de uso de fosforitas: Chile y Uruguay

País	Mercado (k TM de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Situación actual y tendencias de uso
	Actual	Potential	
Chile	3-5	8-15	<ul style="list-style-type: none"><li>-Tradición de uso y base experimental significativa (e.g. INIA)</li><li>-Principal uso en el sur del país (fertilización de pasturas y verdeos)</li><li>-Nichos de mercado vacantes en cultivos frutales</li></ul>
Uruguay	4-10	9-10	<ul style="list-style-type: none"><li>-Tradición de uso y extensa basa experimental</li><li>-Principal uso para la fertilización de pasturas y campo natural</li><li>-También se utiliza RF para la producción de SFS y RF parcialmente acidulada</li></ul>



## Panorama y tendencias de uso de fosforitas: Argentina y Paraguay

País	Mercado (k TM de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Situación actual y tendencias de uso
	Actual	Potencial	
Argentina	Nulo	20-30	<ul style="list-style-type: none"><li>-Actualmente no se utiliza RF para la fertilización de cultivos y pasturas</li><li>-Toda la RF importada se destina a la producción de SFS</li><li>-Potencial significativo de uso de RF en aplicación directa tanto en Mesopotamia como e Región Pampeana en ambientes con suelos acidificados o genéticamente ácidos</li></ul>
Paraguay	Nulo	15-20	<ul style="list-style-type: none"><li>-Potencial de uso principalmente en la región oriental</li><li>-Oportunidades de inversión en producción local de fertilizantes (estímulos beneficios impositivos) en puerto de Villeta y alrededores</li></ul>



## **¿Qué nos falta conocer sobre el uso agronómico de fosforitas en suelos argentinos?**

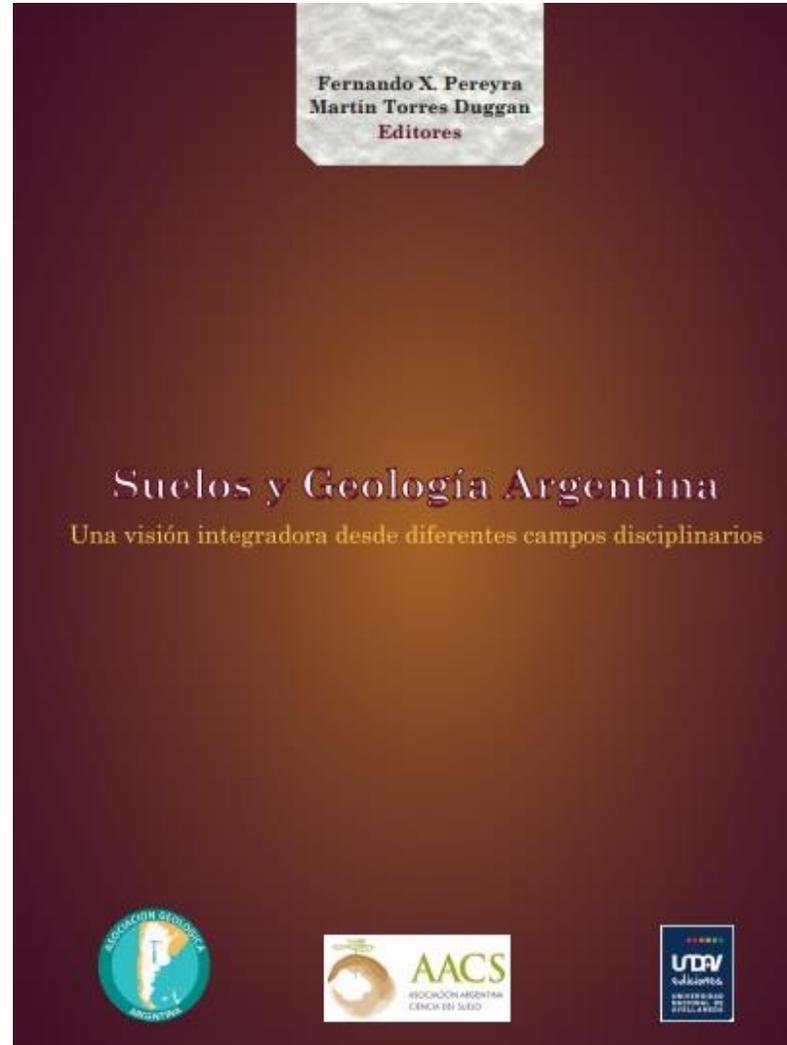
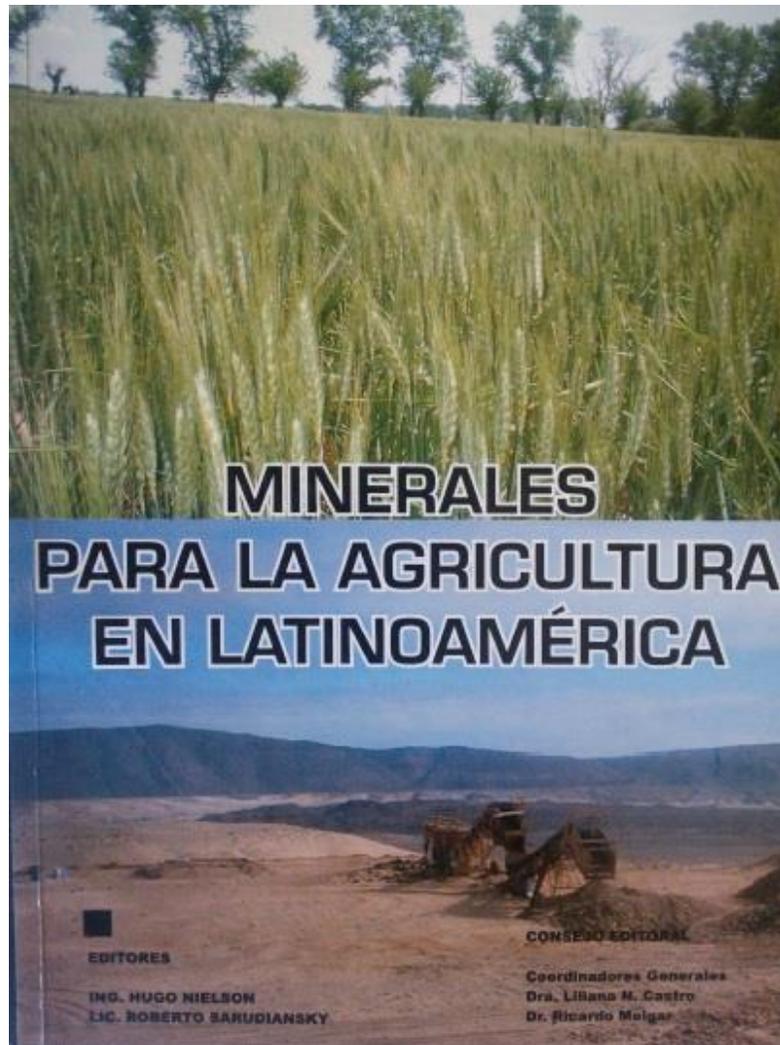
- ✓ Dinámica de P en suelos tratados con RF: influencia de la mineralogía de arcillas, pH, etc.
- ✓ Recuperación aparente de P en diferentes tipos de suelos y secuencias de cultivos y pasturas
- ✓ Eficiencia agronómica relativa de RF y fuentes solubles de P a escala subregional y regional (i.e. zonificación)
- ✓ Tecnologías de paletización y/o granulación: ¿Cómo podemos ganar en eficiencia mejorando el procesamiento físico de la Rf?
- ✓ ¿Nanotecnología y Biotecnología aplicada al desarrollo de nuevos fertilizantes?



## Algunos mensajes finales...

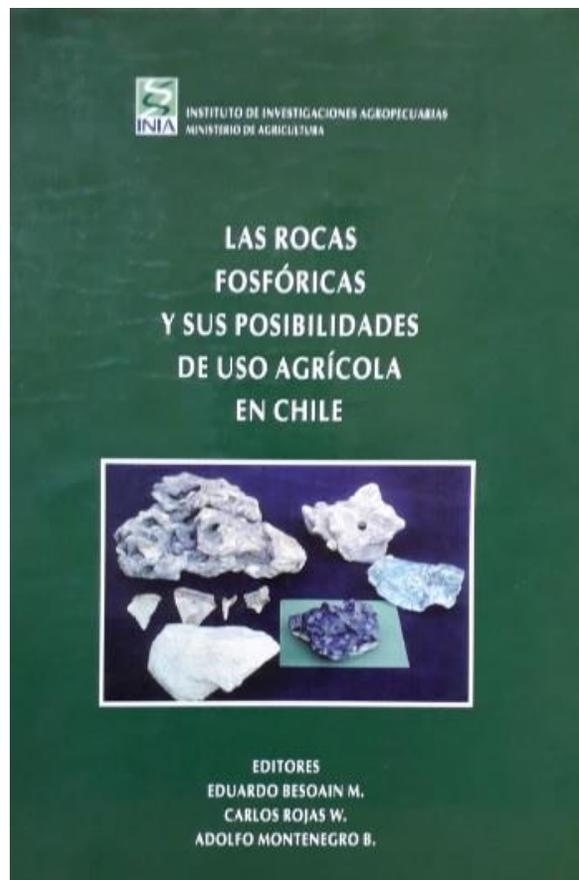
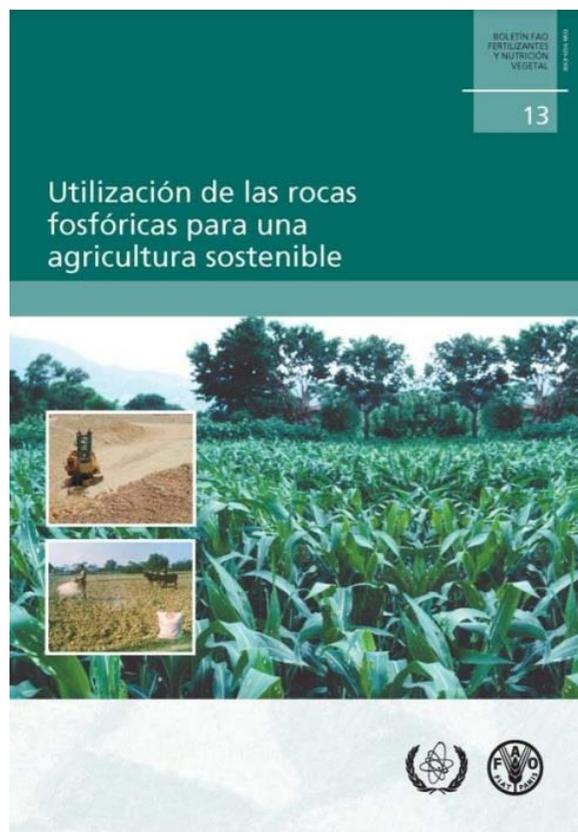
- ✓ **Se requiere estimular estudios inter y transdisciplinarios que integren diferentes escalas sin el perder el foco agronómico pero sacando provecho de ciencias y disciplinas como Geología, Mineralogía y Petrología y Petrografía, Química, Física, Biología, Biotecnología, entre otras.**
- ✓ **Los experimentos en condiciones controladas y/o a campo son imprescindibles en cualquier investigación en ciencias agropecuarias y ambientales. Sin embargo, cuando se evalúan rocas y minerales como fertilizantes o enmiendas, su caracterización petrológica, mineralógica, química, etc. es fundamental para predecir su potencial de uso agronómico**
- ✓ **La mayor parte de las innovaciones tecnológicas disruptivas derivan de la aplicación combinada de conocimientos disponibles. Es decir no hay que inventar la rueda para Innovar, pero sin investigación científica no hay innovación...!**

# ¿Información sobre caracterización y uso de rocas y minerales como fertilizantes y enmiendas?





## ¿Información sobre uso agronómico de roca fosfórica?



CHAPTER EIGHT

**RECENT DEVELOPMENTS OF FERTILIZER PRODUCTION AND USE TO IMPROVE NUTRIENT EFFICIENCY AND MINIMIZE ENVIRONMENTAL IMPACTS**

S. H. Chien,<sup>\*†</sup> L. I. Prochnow,<sup>‡</sup> and H. Cantarella<sup>§</sup>

---

**Contents**

1. Introduction	268
2. Improving the Efficiency of Nitrogen Fertilizers	269
2.1. Controlled-release coated urea products	270
2.2. Slow-release urea-aldehyde polymer products	272
2.3. Urea supergranules for deep placement	273
2.4. Reducing nitrate leaching/denitrification by nitrification inhibitors	275
2.5. Reducing ammonia volatilization by urease inhibitors	275
2.6. Reducing ammonia volatilization and nitrate leaching/denitrification by combining urease and nitrification inhibitors	283
2.7. Use of ammonium sulfate to enhance N efficiency of urea	286
3. Improving the Efficiency of Conventional Phosphorus Fertilizers	288
3.1. Coated water-soluble phosphorus fertilizers	288
3.2. Urea supergranules containing phosphorus and potassium nutrients	290
3.3. Fluid versus granular water-soluble phosphorus fertilizers	291
4. Use of Nonconventional Phosphorus Fertilizers	293
4.1. Phosphate rock for direct application	293
4.2. Mixture of phosphate rock and water-soluble P	296
4.3. Calcined nonapatite phosphate rock for direct application	297
4.4. Agronomic effectiveness of nonconventional acidulated phosphate fertilizers	300
5. New Granular Nitrogen and Phosphorus Fertilizers Containing Sulfur Nutrient	306

\* Formerly with International Fertilizer Development Center (IFDC), Muscle Shoals, Alabama, USA  
† International Plant Nutrition Institute (IPNI), Piracicaba, SP, Brazil  
‡ Instituto Agronômico, Campinas, SP, Brazil  
§ Corresponding author: 1995 Beechwood Circle, Florence, Alabama, USA; email: nchien@comcat.net

Advances in Agronomy, Volume 102 © 2009 Elsevier Inc.  
ISSN 0065-2113, DOI: 10.1016/S0065-2113(09)01008-6 All rights reserved.





**Muchas gracias!**

**Dr. Martín Torres Duggan**