



# Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo

Dr. Marcel Barbier PhD

Especialista de Desarrollo para Latino América

Rio Tinto – US Borax



INNOVATION AND SUSTAINABILITY

**IN OIL PALM**

nourishing people and protecting the planet

September 26<sup>th</sup>, 27<sup>th</sup>, and 28<sup>th</sup> 2018  
Cartagena de Indias Convention Center, Colombia



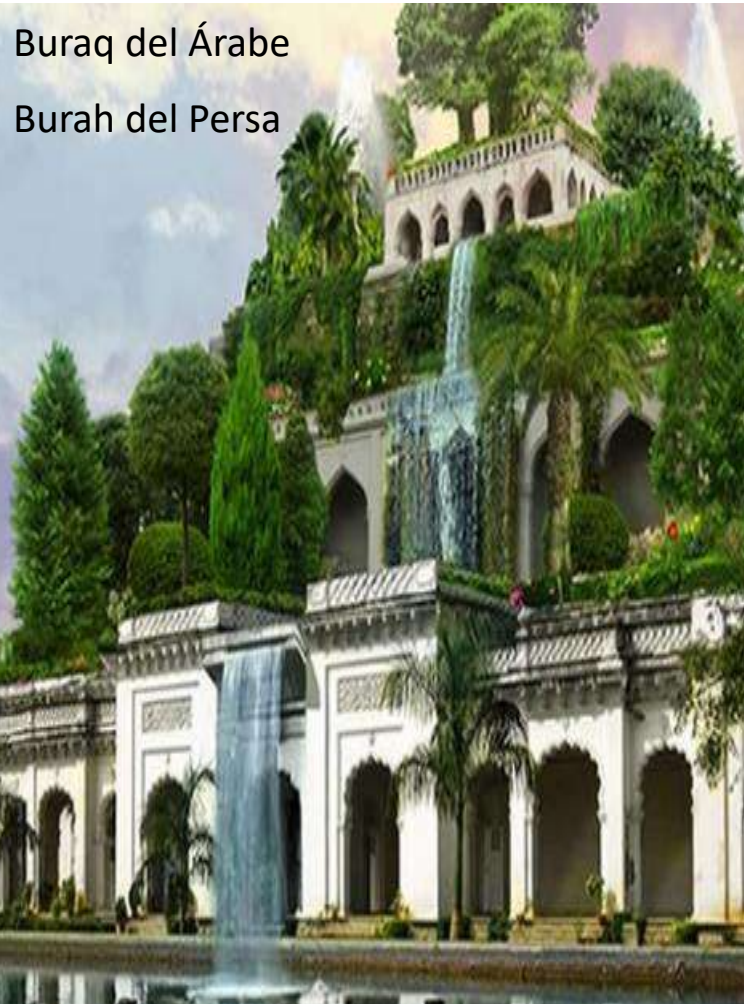
**U.S. Borax**, parte del Grupo **Rio Tinto**, es una empresa líder a nivel global en el suministro y desarrollo de boratos. Suministra 30% de los boratos refinados usados en el mundo desde sus instalaciones de alta tecnología ubicadas en California. Atiende a más de 500 clientes con más de 1,700 centros de distribución a nivel global. Para la agricultura provee los boratos refinados con mayor pureza en el mercado global.

**Fundación ABC**, es una institución de carácter particular, sin fines de lucro, que realiza investigación aplicada para desarrollar y adaptar nuevas tecnologías, con el objetivo de promover soluciones tecnológicas para el agro negoció en los estados de Sao Paulo y Paraná en Brasil.





# Breve historia del boro



Sir Humphry Davy  
17/12/1778  
29/05/1829

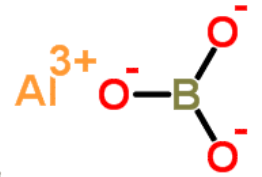


Joseph Louis Gay-Lussac  
06/12/1778  
09/05/1850



Louis-Jaques Thénard  
04/05/1777  
21/06/1857

## Productos de boro impuros



Borato de aluminio



Complejo de B, Al y C.

## Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo

BARTH, Gabriel <sup>(1)</sup>; JORIS, Helio Antonio Wood <sup>(1)</sup>; BARBIER, Marcel <sup>(2)</sup>; SILVESTRIN, Fabiano <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> ABC Foundation; PR 151 Highway, Km 288, Castro, Paraná. 84166-981 Brazil; gabrielbarth@fundacaoabc.org

<sup>(2)</sup> Rio Tinto, 8051 E. Maplewood Ave. Greenwood Village, CO 80111 USA; marcel.barbier@riotinto.com



# Extracción del boro mineral





# La necesidad de boro por las plantas



Katherine Warington, 1923



Kovachich, Congo (1952/53)

# Minerales que contienen boro y son usados para fabricar fertilizantes

## Borato de sodio



**Tincal o Borax**



Soluble en agua  
(2.65 g/100 ml)

35%  $\text{B}_2\text{O}_3$  → 11%B

**Kernita**



Parcialmente soluble en agua  
(1.90 g/100 ml)

48%  $\text{B}_2\text{O}_3$  → 15%B

## Borato de sodio y calcio



**Ulexita**



Ligeramente soluble en agua  
(1.09 g/100 ml)

32 a 42%  $\text{B}_2\text{O}_3$  → 8-15 %B

## Borato de calcio



**Colemanita**



Insoluble en agua  
(0.47 g/100 ml)

40-48%  $\text{B}_2\text{O}_3$  → 15%B

## Borato de calcio y magnesio



**Hidroboracita**



Insoluble en agua  
(0.08 g/100 ml)

48%  $\text{B}_2\text{O}_3$  → 15%B



# Obtención y beneficiado de boratos para la fabricación de fertilizantes



Extracción



Separación



Refinado



# Definiendo un borato refinado

Un borato ( $B_2O_3$ ) es boro + oxígeno.

Boratos refinados son productos que pasaron por un proceso de beneficiado del mineral, en el cual las impurezas son removidas (metales pesados y otros elementos) que pudiesen estar contenidos en el material original.



Roca extraída



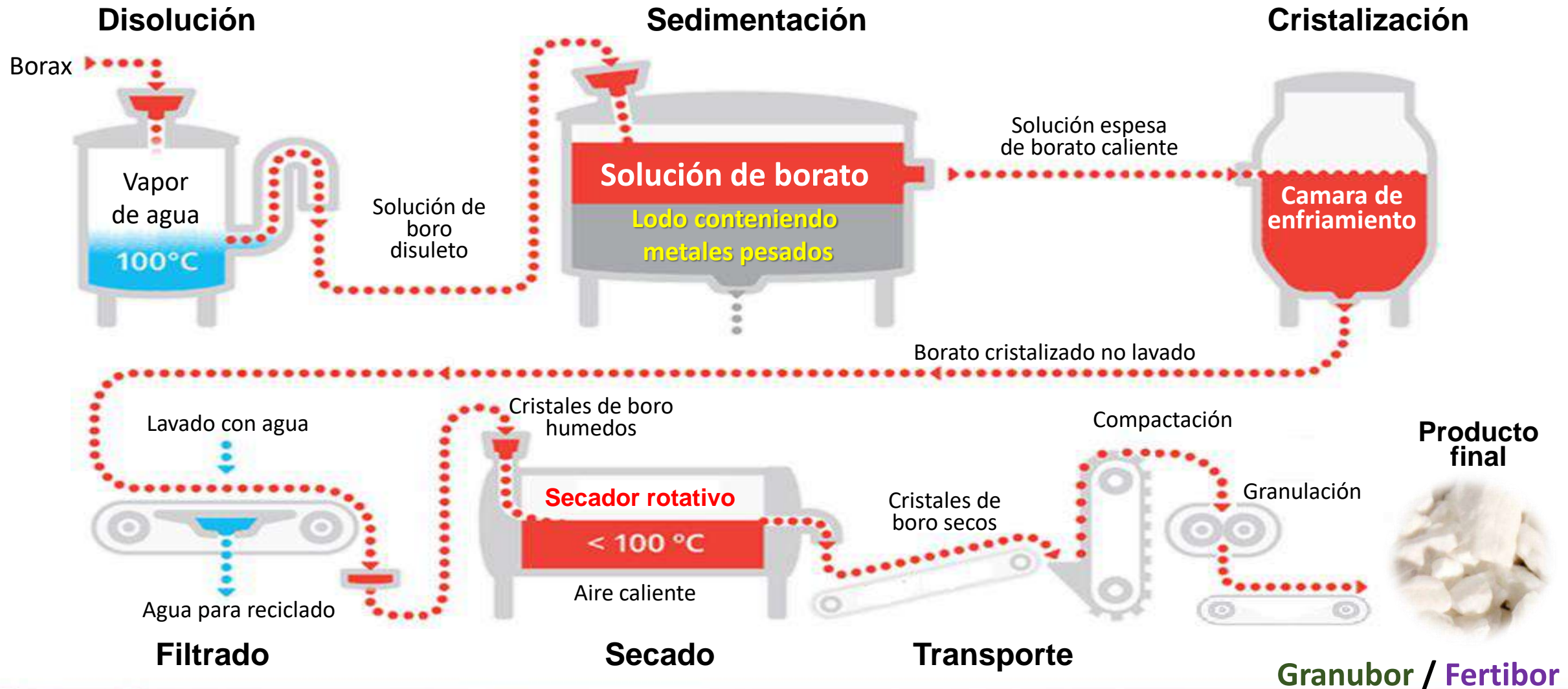
Mineral extraído  
que hacia parte de la roca



Borato refinado



# Beneficiado y refinamiento de borato de sodio



## Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo

BARTH, Gabriel <sup>(1)</sup>; JORIS, Helio Antonio Wood <sup>(1)</sup>; BARBIER, Marcel <sup>(2)</sup>; SILVESTRIN, Fabiano <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> ABC Foundation; PR 151 Highway, Km 288, Castro, Paraná. 84166-981 Brazil; gabrielbarth@fundacaoabc.org

<sup>(2)</sup> Rio Tinto, 8051 E. Maplewood Ave. Greenwood Village, CO 80111 USA; marcel.barbier@riotinto.com

# Beneficiado de borato de sodio y calcio

## Ulexita



La calcinación se hace para aumentar el %B debido a la alta variabilidad en las fuentes de ulexita. La deshidratación hace a la ulexita aun menos soluble.

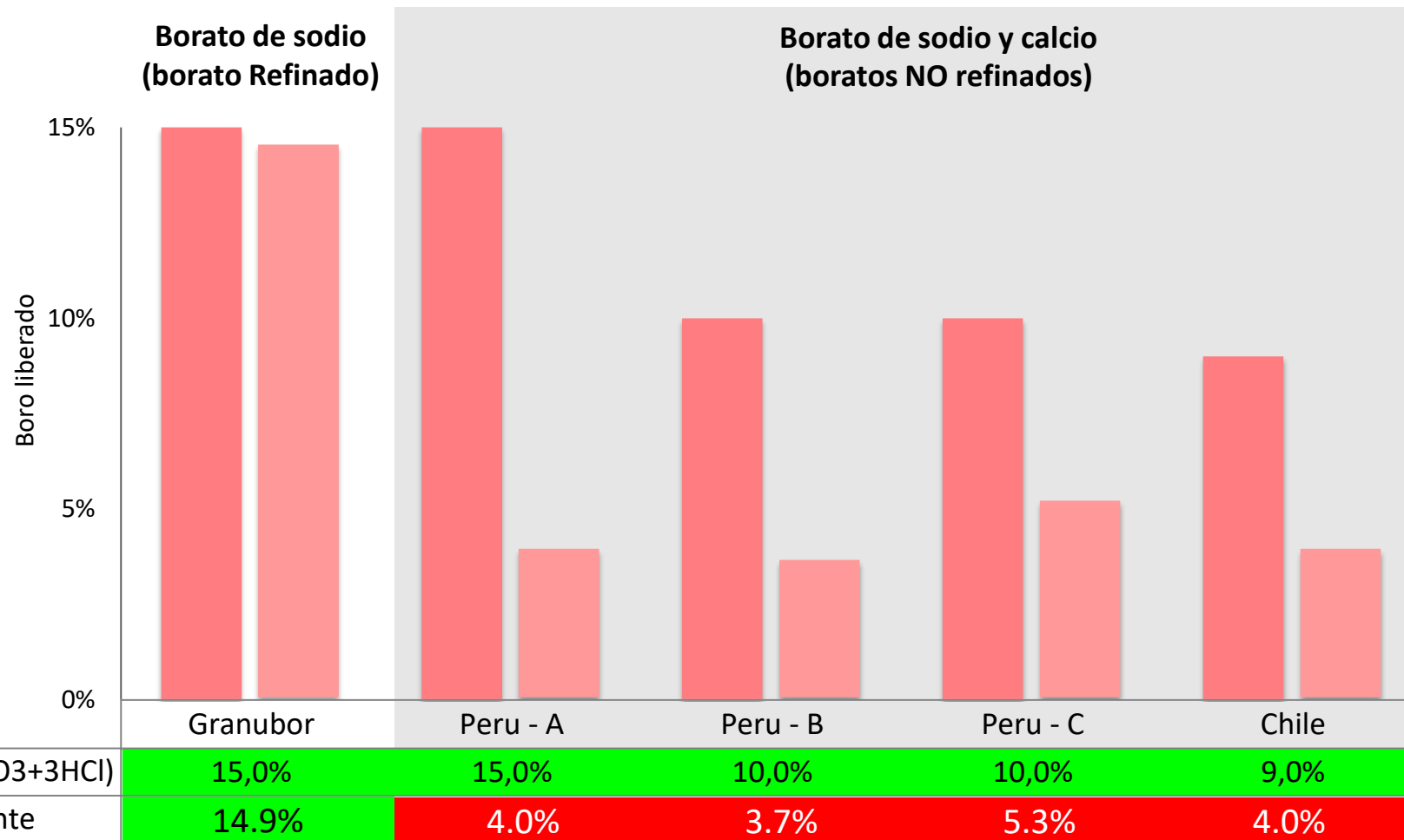


# Solubilidad de boratos refinados VS NO refinados

Todas las muestras en forma granular

Digestión en ácido fuerte reporte comercial

Extracción en agua caliente



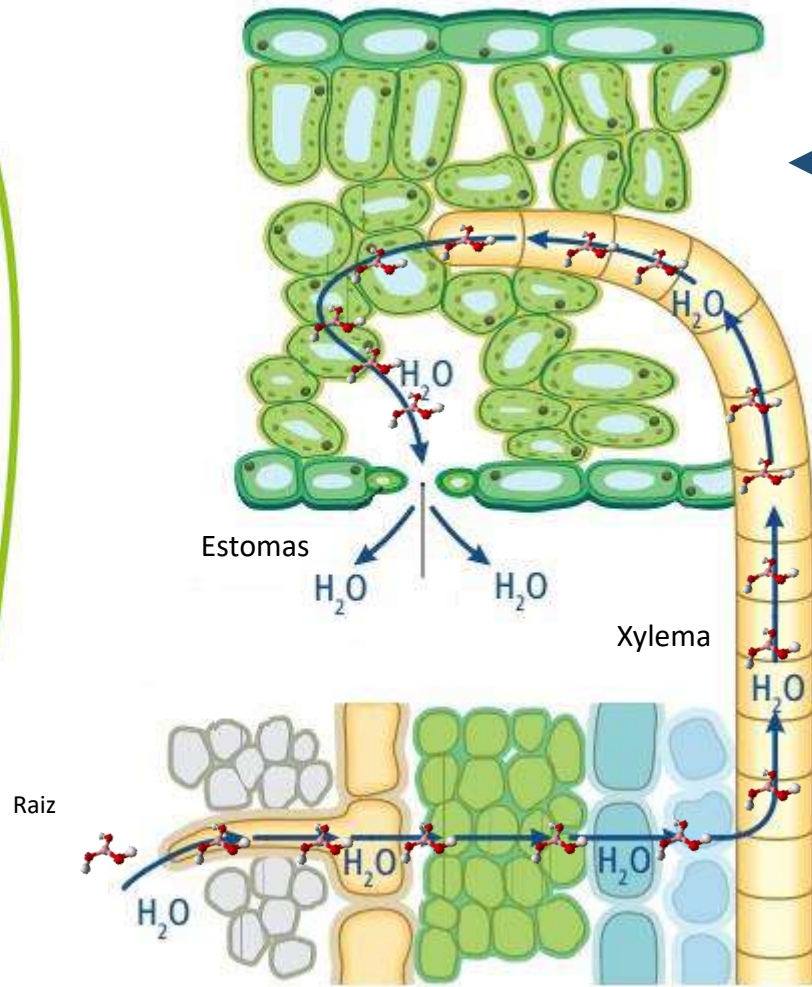
## Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo

BARTH, Gabriel <sup>(1)</sup>; JORIS, Helio Antonio Wood <sup>(1)</sup>; BARBIER, Marcel <sup>(2)</sup>; SILVESTRIN, Fabiano <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> ABC Foundation; PR 151 Highway, Km 288, Castro, Paraná. 84166-981 Brazil; gabrielbarth@fundacaoabc.org

<sup>(2)</sup> Rio Tinto, 8051 E. Maplewood Ave. Greenwood Village, CO 80111 USA; marcel.barbier@riotinto.com

# Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo



El boro es absorbido en la forma ácido bórico  $B(OH)_3$  y es transportado por el xilema hacia los meristemas en crecimiento





# Materiales y métodos (Columnas)



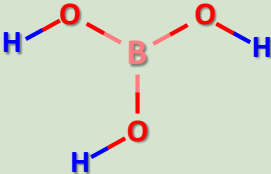
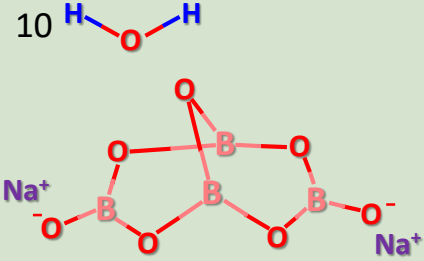
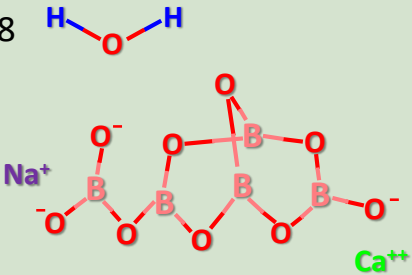
- Diseño experimental: Completo azar
- Unidad experimental: tubo de PCV de 0.1m (4") de diametro y 0.7m (27¼") de altura, con un volumen de 0.0157 m<sup>3</sup> igual a 15.7 L.

# Materiales y métodos (Suelos)

Variable	Suelo Arenoso	Suelo Arcilloso
Imagen del suelo		
Materia orgánica (g dm <sup>-3</sup> )	24	49
pH	4.7	4.1
CIC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	71.7	169.6
Contenido de B (mg dm <sup>-3</sup> )	0.2	0.4
Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )	299	727
Limo (g kg <sup>-1</sup> )	77	132
Arena (g kg <sup>-1</sup> )	624	141



# Materiales y métodos (Fuentes de boro)

Variable	Ácido Bórico	Borato de sodio	Borato de sodio y calcio
Nombre común	Ácido bórico	Tetraborato de sodio	Pentaborato de sodio y calcio
Formula química	$H_3BO_3$	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	$NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$
Estructura molecular			
% de B en ácido cítrico al 2%	18.49	16.14	10.97
% de B en agua tibia	18.64	13.80	5.41

# Materiales y métodos (Tratamientos)

No.	Suelo	Fuente	Forma	Origen	Concentración % de B ofrecido	Dosis de la fuente para obtener un equivalente a 2 kg B ha <sup>-1</sup>
1	Arenoso	Sin boro	N/A	N/A	N/A	N/A
2		Tetraborato de Na	Grano grueso	CA, USA	14.3	112 mg
3		Pentaborato de Na y Ca	Grano grueso	Argentina	10.0	160 mg
4		Pentaborato de Na y Ca	Grano grueso	Bolivia	10.0	160 mg
5		Ácido bórico	Polvo	CA, USA	17.0	94 mg
6		Tetraborato de Na	Grano fino	CA, USA	15.0	107 mg
7	Arcilloso	Sin boro	N/A	N/A	N/A	N/A
8		Tetraborato de Na	Grano grueso	CA, USA	14.3	112 mg
9		Pentaborato de Na y Ca	Grano grueso	Argentina	10.0	160 mg
10		Pentaborato de Na y Ca	Grano grueso	Bolivia	10.0	160 mg
11		Ácido bórico	Polvo	CA, USA	17.0	94 mg
12		Tetraborato de Na	Grano fino	CA, USA	15.0	107 mg

## Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo

BARTH, Gabriel <sup>(1)</sup>; JORIS, Helio Antonio Wood <sup>(1)</sup>; BARBIER, Marcel <sup>(2)</sup>; SILVESTRIN, Fabiano <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> ABC Foundation; PR 151 Highway, Km 288, Castro, Paraná. 84166-981 Brazil; gabrielbarth@fundacaoabc.org

<sup>(2)</sup> Rio Tinto, 8051 E. Maplewood Ave. Greenwood Village, CO 80111 USA; marcel.barbier@riotinto.com



# Instalación del experimento

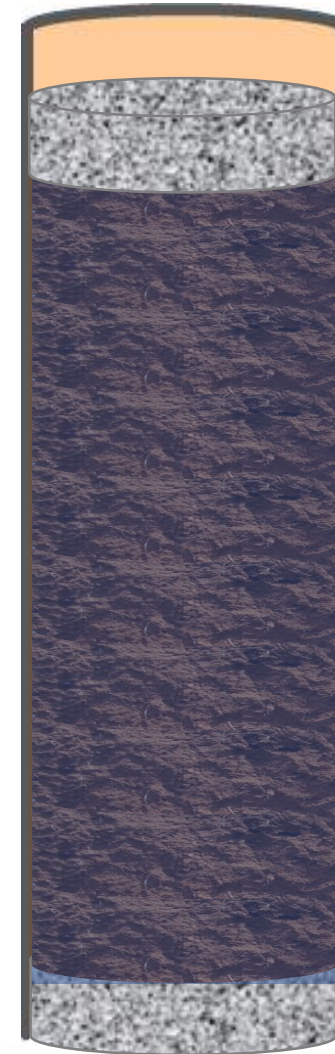


5 cm de arena lavada y auto-clavada

1000 ml de agua des-ionizada

50 cm de suelo

5 cm de arena lavada y auto-clavada



Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo

BARTH, Gabriel <sup>(1)</sup>; JORIS, Helio Antonio Wood <sup>(1)</sup>; BARBIER, Marcel <sup>(2)</sup>; SILVESTRIN, Fabiano <sup>(2)</sup>.

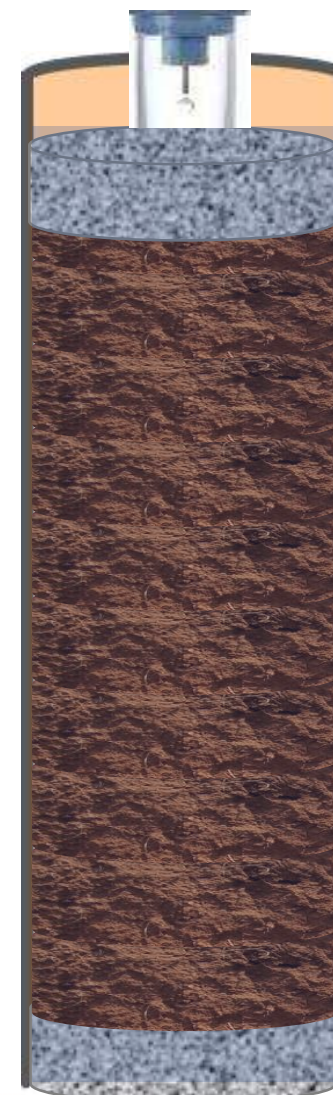
<sup>(1)</sup> ABC Foundation; PR 151 Highway, Km 288, Castro, Paraná. 84166-981 Brazil; gabrielbarth@fundacaoabc.org

<sup>(2)</sup> Rio Tinto, 8051 E. Maplewood Ave. Greenwood Village, CO 80111 USA; marcel.barbier@riotinto.com

# Instalación del experimento



Las columnas  
conteniendo  
suelo  
arenoso  
recibieron  
500 ml de  
agua cada  
semana  
aplicada por  
goteo

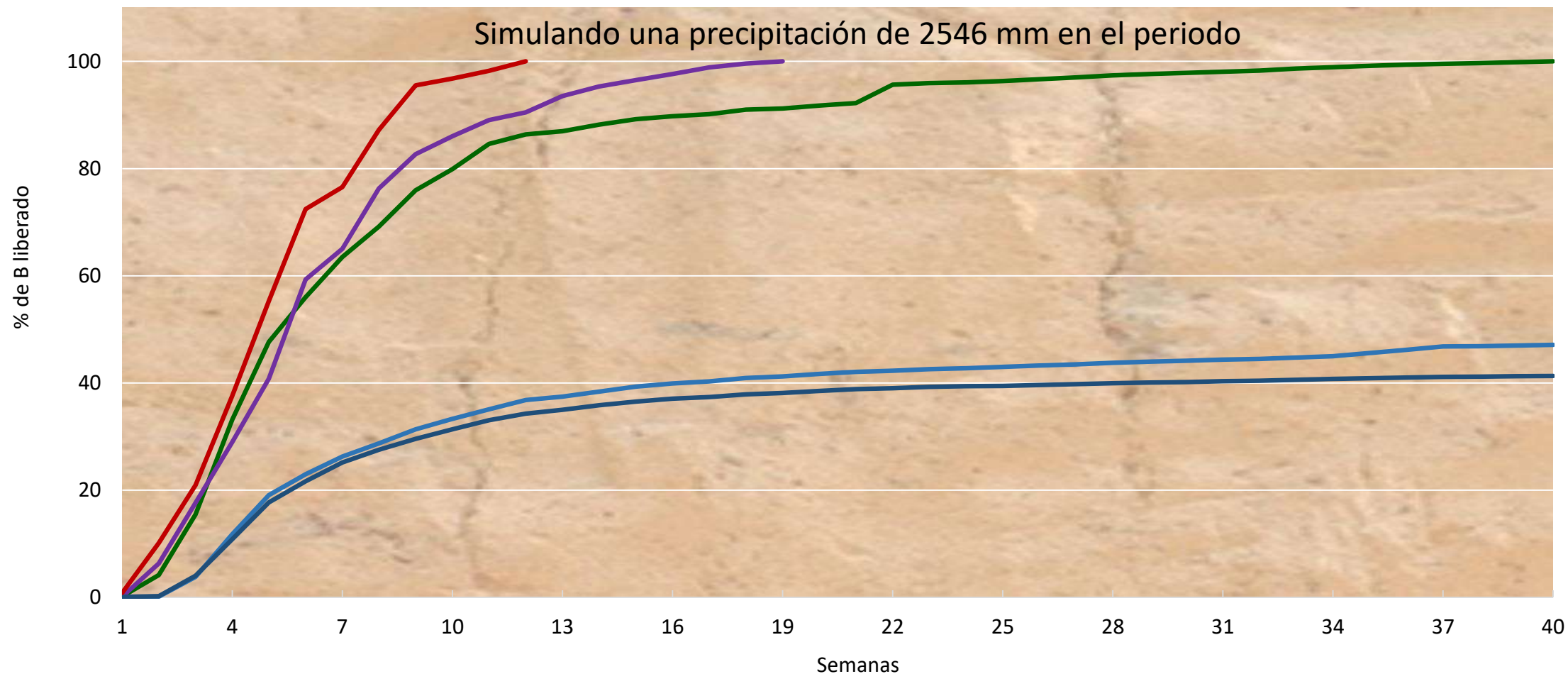


Las columnas  
conteniendo  
suelo  
arcilloso  
recibieron  
800 ml de  
agua cada  
semana  
aplicada por  
goteo

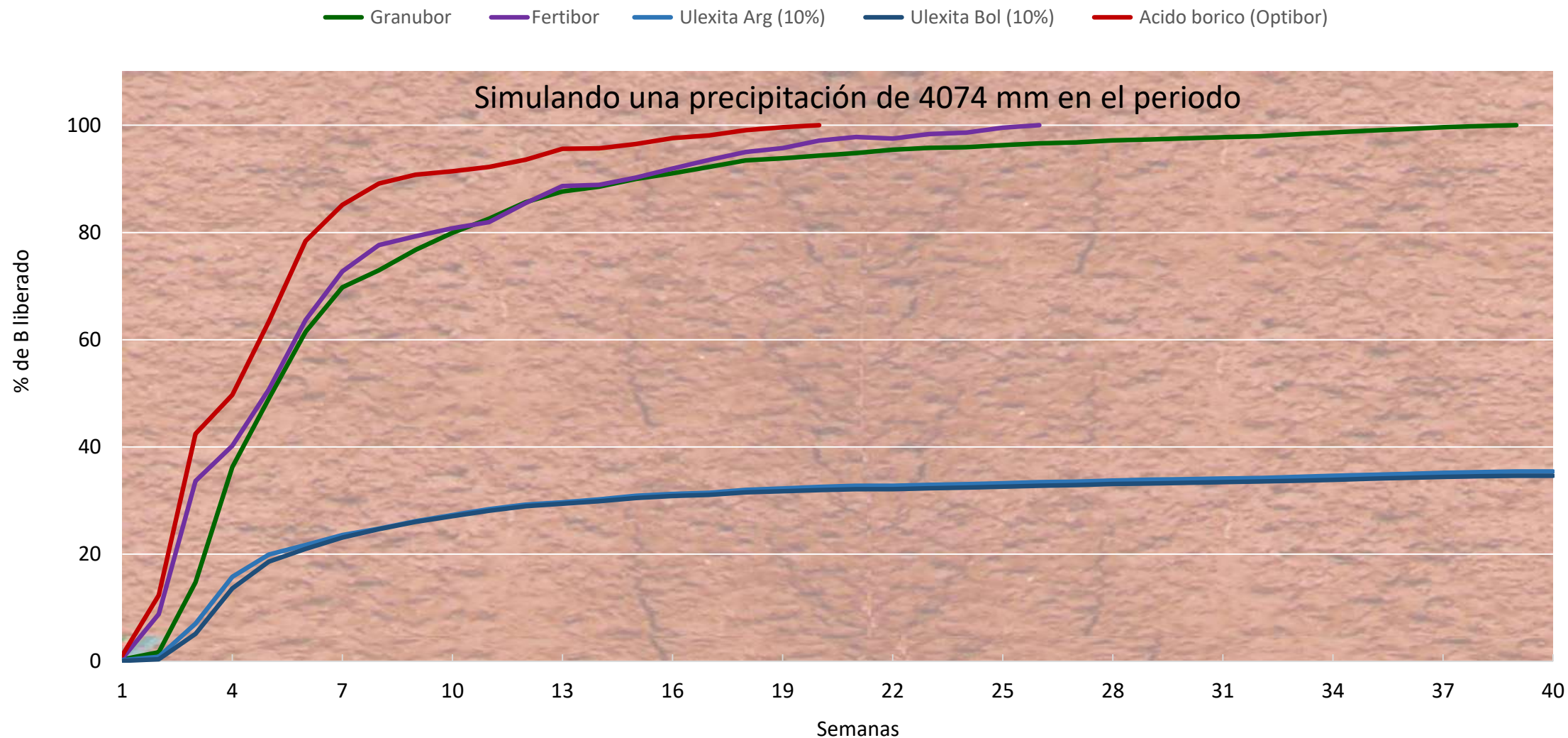


# Resultados (Curvas de liberación de B en suelo arenoso, pH 4.7)

Granubor    Fertibor    Ulexita Arg (10%)    Ulexita Bol (10%)    Acido borico (Optibor)

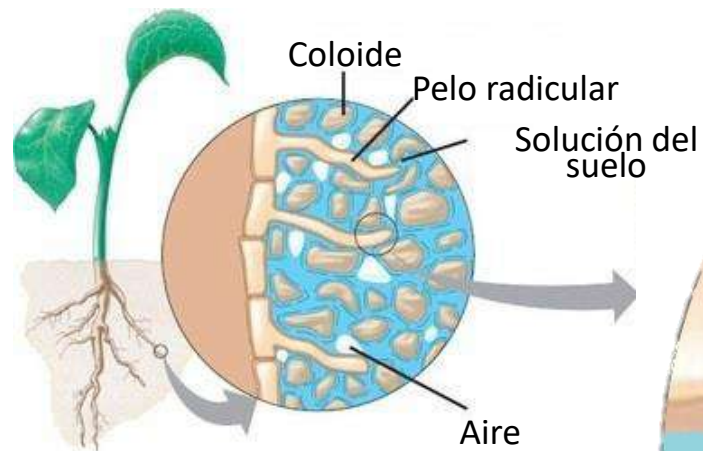


# Resultados (Curvas de liberación de B en suelo arcilloso, pH 4.1)

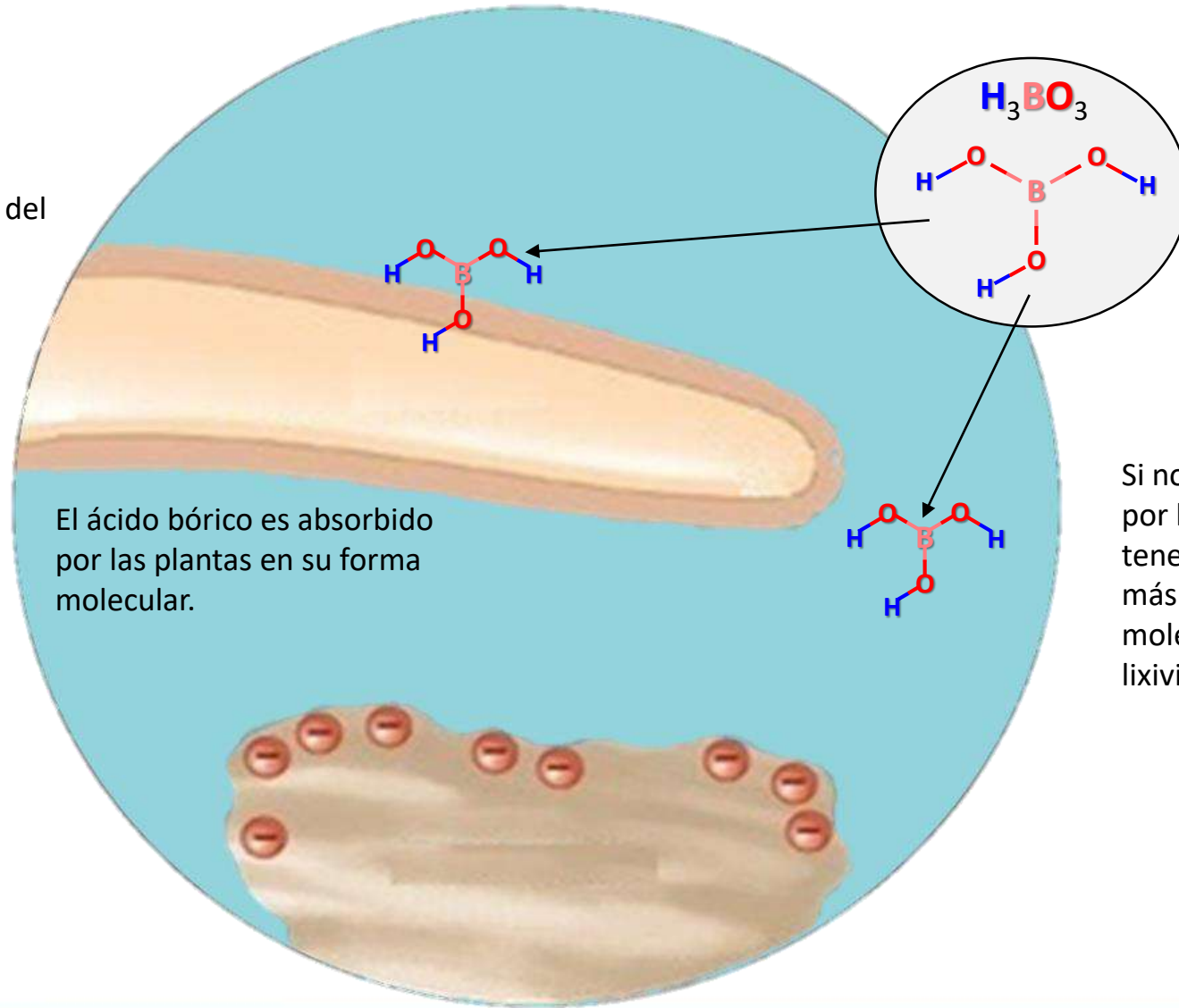
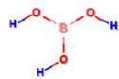




# Disociación del ácido bórico en la solución del suelo



Las plantas absorben el boro en forma de  $B(OH)_3$



Si no es tomado por la raíz, al no tener carga hace más fácil que la molécula se lixivie.

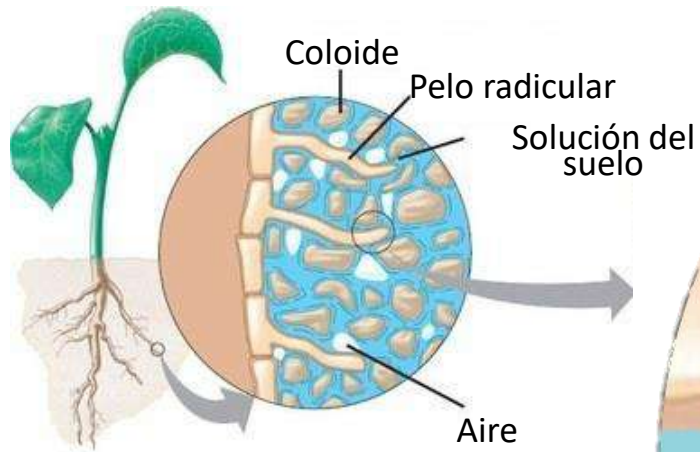
## Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo

BARTH, Gabriel <sup>(1)</sup>; JORIS, Helio Antonio Wood <sup>(1)</sup>; BARBIER, Marcel <sup>(2)</sup>; SILVESTRIN, Fabiano <sup>(2)</sup>.

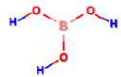
<sup>(1)</sup> ABC Foundation; PR 151 Highway, Km 288, Castro, Paraná. 84166-981 Brazil; gabrielbarth@fundacaoabc.org

<sup>(2)</sup> Rio Tinto, 8051 E. Maplewood Ave. Greenwood Village, CO 80111 USA; marcel.barbier@riotinto.com

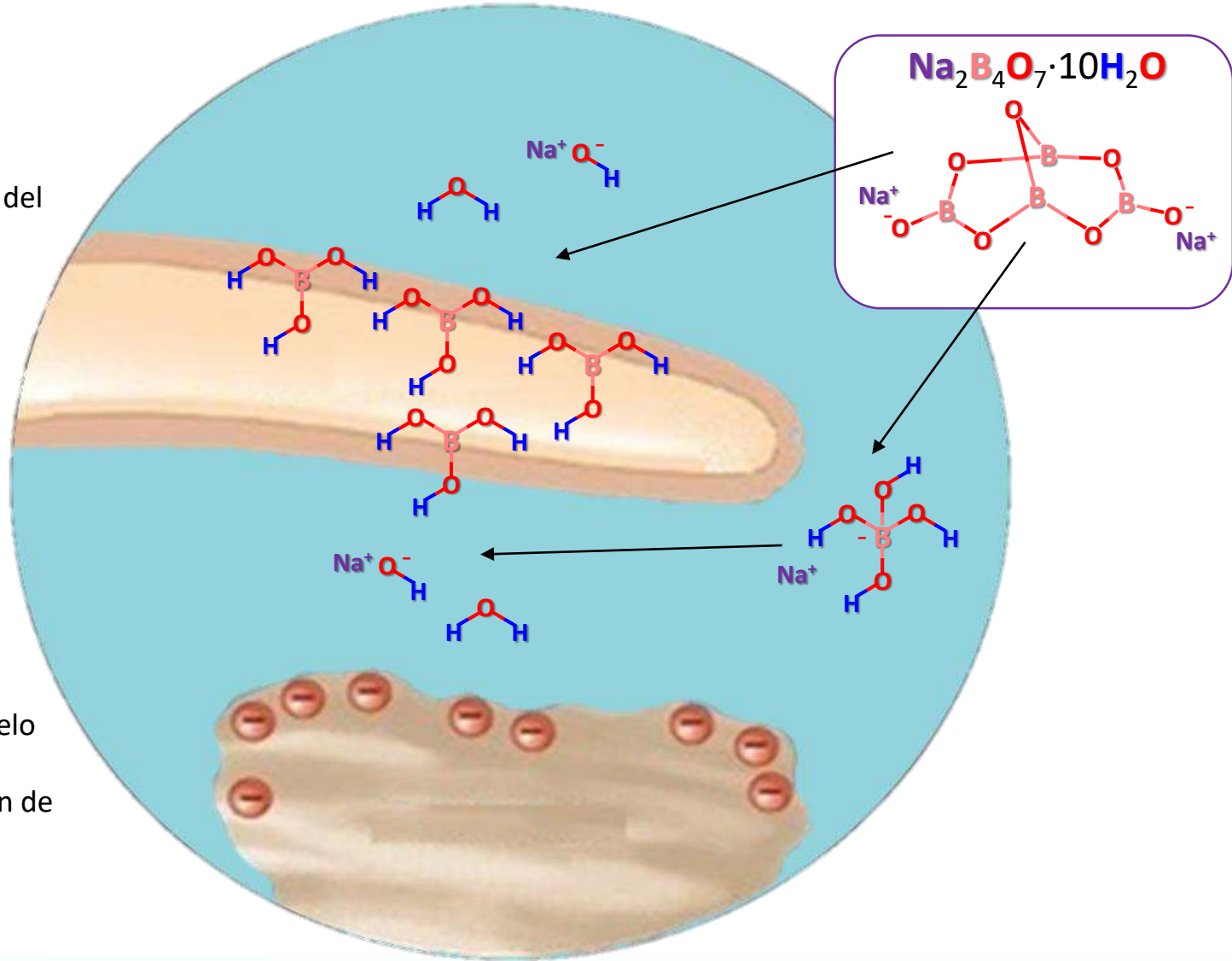
# Disociación del tetraborato de sodio en la solución del suelo



Las plantas absorben el boro en forma de  $B(OH)_3$



Cuatro moléculas de B son liberadas en la solución del suelo como ácido bórico, que esta biodisponible para la absorción de las plantas junto con el agua.



## Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo

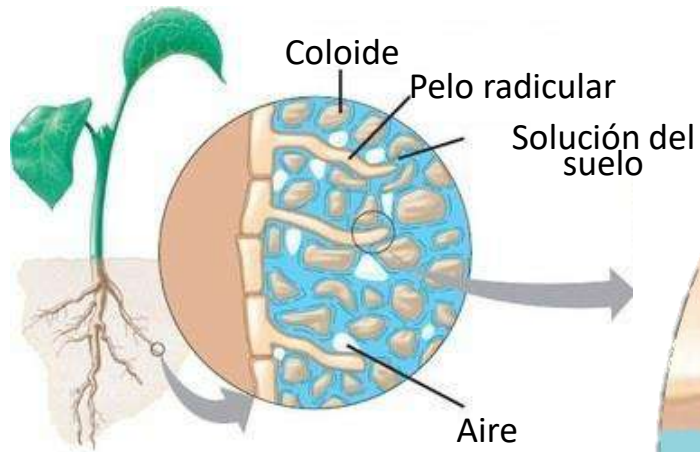
BARTH, Gabriel <sup>(1)</sup>; JORIS, Helio Antonio Wood <sup>(1)</sup>; BARBIER, Marcel <sup>(2)</sup>; SILVESTRIN, Fabiano <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> ABC Foundation; PR 151 Highway, Km 288, Castro, Paraná. 84166-981 Brazil; gabrielbarth@fundacaoabc.org

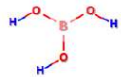
<sup>(2)</sup> Rio Tinto, 8051 E. Maplewood Ave. Greenwood Village, CO 80111 USA; marcel.barbier@riotinto.com



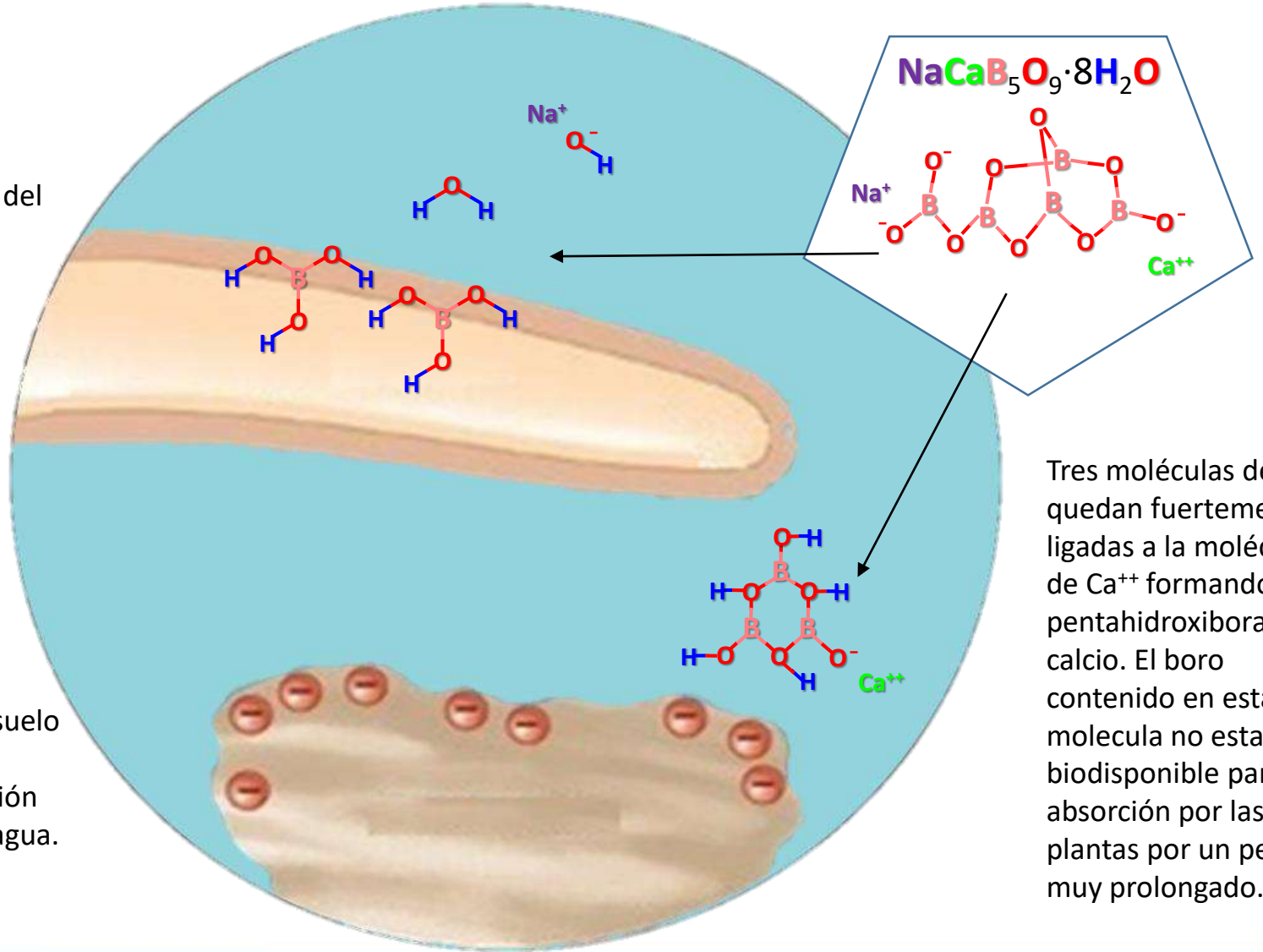
# Disociación del pentaborato de sodio y calcio en la solución del suelo



Las plantas absorben el boro en forma de  $B(OH)_3$



Solo dos moléculas de B son liberadas en la solución del suelo como ácido bórico, que esta biodisponible para la absorción por las plantas junto con el agua.



Tres moléculas de B quedan fuertemente ligadas a la molécula de  $Ca^{++}$  formando un pentahidroxiborato de calcio. El boro contenido en esta molecula no estará biodisponible para la absorción por las plantas por un período muy prolongado.

## Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo

BARTH, Gabriel <sup>(1)</sup>; JORIS, Helio Antonio Wood <sup>(1)</sup>; BARBIER, Marcel <sup>(2)</sup>; SILVESTRIN, Fabiano <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> ABC Foundation; PR 151 Highway, Km 288, Castro, Paraná. 84166-981 Brazil; gabrielbarth@fundacaoabc.org

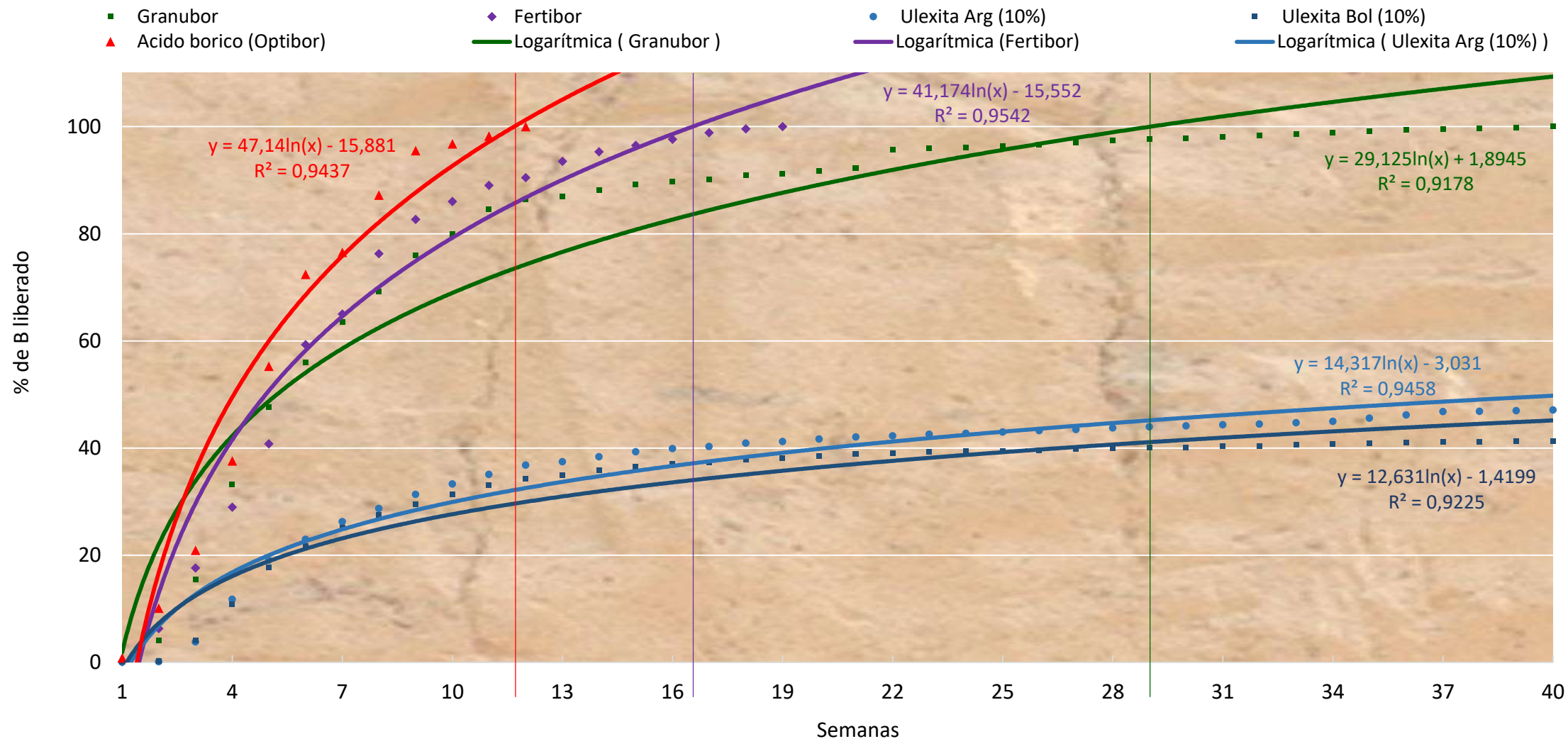
<sup>(2)</sup> Rio Tinto, 8051 E. Maplewood Ave. Greenwood Village, CO 80111 USA; marcel.barbier@riotinto.com

# Análisis de los suelos al final del estudio de bioliberación

Tratamiento	Contenido de B en mg dm <sup>-3</sup>	
	Suelo arenoso	Suelo arcilloso
Boro inicial en los suelos antes del inicio	0.200	0.400
Testigo sin boro	0.146 d	0.403 b
Tetraborato de sodio (Grano grueso)	0.253 bc	0.503 a
Tetraborato de sodio (Grano fino)	0.243 cd	0.510 a
Pentaborato de sodio y calcio (Argentina)	0.353 ab	0.583 a
Pentaborato de sodio y calcio (Bolivia)	0.383 a	0.578 a
Ácido bórico	0.240 cd	0.495 ab



# Resultados (Tendencia logarítmica de liberación de B en suelo arenoso, pH 4.7)



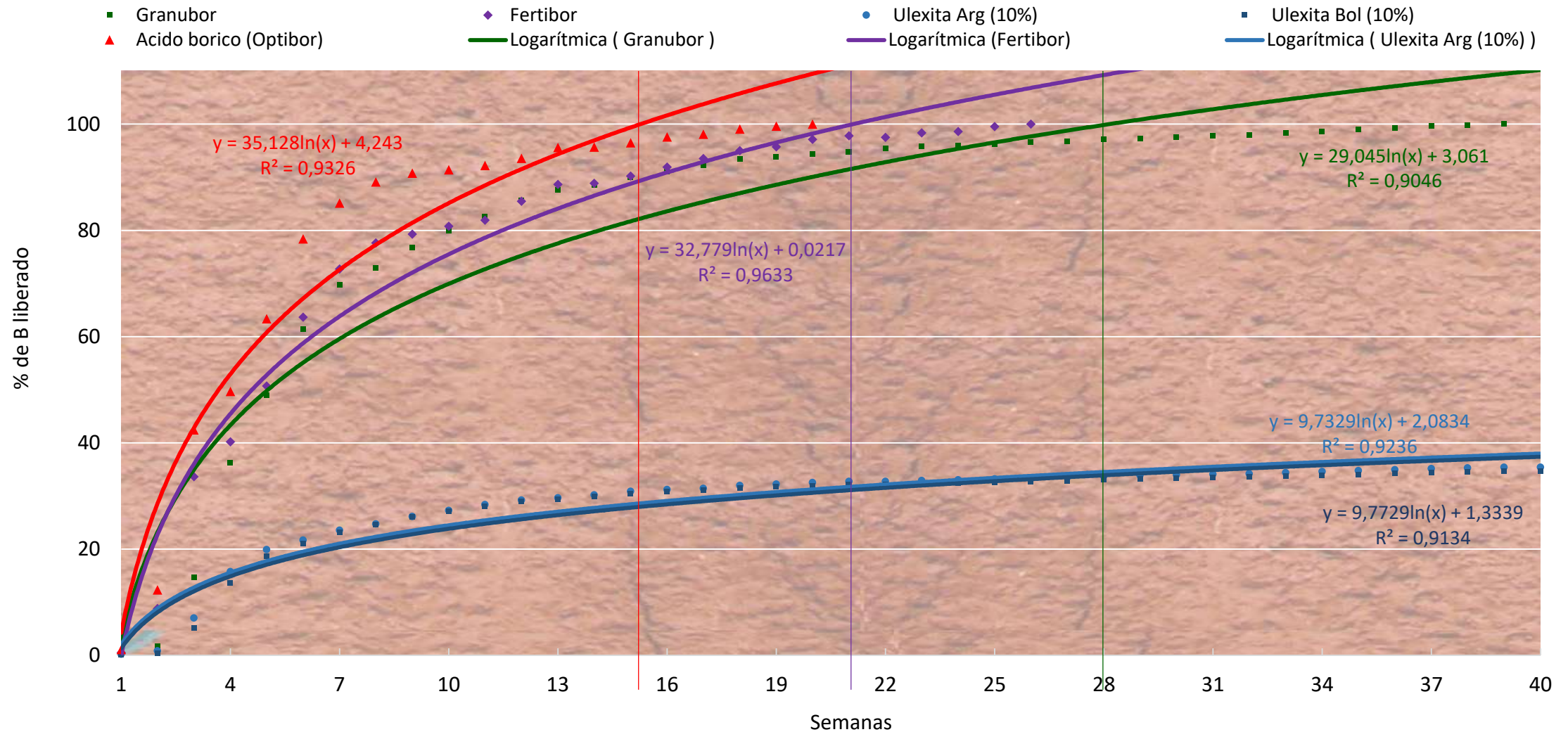
## Biodisponibilidad de boro derivado de tres fuentes de boro en dos tipos de suelo

BARTH, Gabriel <sup>(1)</sup>; JORIS, Helio Antonio Wood <sup>(1)</sup>; BARBIER, Marcel <sup>(2)</sup>; SILVESTRIN, Fabiano <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> ABC Foundation; PR 151 Highway, Km 288, Castro, Paraná. 84166-981 Brazil; gabrielbarth@fundacaoabc.org

<sup>(2)</sup> Rio Tinto, 8051 E. Maplewood Ave. Greenwood Village, CO 80111 USA; marcel.barbier@riotinto.com

# Resultados (Tendencia logarítmica de liberación de B en suelo arcilloso, pH 4.1)





De acuerdo con las tendencias logarítmicas, ¿Cuanto tiempo se requiere para que el contenido de B en las diferentes fuentes, este biodisponible para las plantas?

Suelo	Fuente	Marca Comercial	R <sup>2</sup>	Formula de la tendencia logarítmica	Tiempo calculado para liberar el 100% de B	
					X = Semanas	AAA MM DD
Arenoso	Ácido Bórico (polvo)	Ácido Bórico	0.9437	$Y = 47.14\ln(x) - 15.881$		
Arcilloso	Ácido Bórico (polvo)	Ácido Bórico	0.9326	$Y = 35.128\ln(x) + 4.243$		
Arenoso	Borato de sodio (grano fino)	Fertibor	0.9178	$Y = 41.174\ln(x) - 15.552$		
Arcilloso	Borato de sodio (grano fino)	Fertibor	0.9633	$Y = 32.779\ln(x) + 0.0217$		
Arenoso	Borato de sodio (granulado)	Granubor	0.9437	$Y = 29.125\ln(x) + 1.8945$		
Arcilloso	Borato de sodio (granulado)	Granubor	0.9046	$Y = 29.045\ln(x) + 3.061$		
Arenoso	Borato de sodio y calcio (granulado)	Ulexita Argentina	0.9458	$Y = 14.317\ln(x) - 3.031$		
Arenoso	Borato de sodio y calcio (granulado)	Ulexita Bolivia	0.9225	$Y = 12.631\ln(x) - 1.4199$		
Arcilloso	Borato de sodio y calcio (granulado)	Ulexita Argentina	0.9236	$Y = 9.7329\ln(x) + 2.0834$		
Arcilloso	Borato de sodio y calcio (granulado)	Ulexita Bolivia	0.9134	$Y = 9.7729\ln(x) + 1.3339$		

# Conclusiones

- El ácido bórico y el tetraborato de sodio liberan mayor cantidad de B biodisponible que el pentaborato de sodio y calcio.
- El contenido de B en el ácido bórico se liberó en su totalidad en 12 semanas de transcurrido el estudio en el suelo arenoso y en 15 semanas en el suelo arcilloso.
- El contenido de B en el tetraborato de sodio de granulo fino se liberó en su totalidad en 19 semanas de transcurrido el estudio en el suelo arenoso y en 26 semanas en el suelo arcilloso.
- El contenido de B en el tetraborato de sodio de grano grueso se liberó en su totalidad en 40 semanas de transcurrido el estudio en el suelo arenoso y en 39 semanas en el suelo arcilloso.
- Por el contrario, el pentaborato de sodio y calcio en promedio para ambos suelos, mostraron un máximo de 47% de B total liberado, después de 40 semanas.
- El contenido de B en el suelo de los tratamientos de fuentes menos solubles no liberaron el B a través de una gran cantidad de agua percolada (promedio de 3300 mm), y se concluye que el mismo se liberará en un tiempo demasiado prolongado debido a la forma molecular en que pueda estar en el suelo.



# Recomendaciones

- Para poder mejorar la biodisponibilidad de B, la fuente correcta y el momento correcto de aplicación son aspectos importantes de tener en cuenta.
- El tetraborato de sodio granulado presenta una liberación más gradual sobre el tetraborato de sodio de grano fino.
- El contar con estudios a un plazo mayor en el cultivo de palma donde se incluyan otras variables como la absorción por los principales tejidos de la palma (hojas y raíces) y ganancia de biomasa está ya en proceso.





# Gracias por su atención

Marcel Barbier, Ph.D.  
Ing. Agr., MSc., Dr.  
Especialista de Desarrollo para Latino America

Celular y WhatsApp: +1 720-422-2856  
[marcel.barbier@riotinto.com](mailto:marcel.barbier@riotinto.com)  
<https://agriculture.borax.com/>



**19<sup>th</sup>**  
International  
**OIL PALM**  
Conference

INNOVATION AND SUSTAINABILITY

**IN OIL PALM**

nourishing people and protecting the planet

September 26<sup>th</sup>, 27<sup>th</sup>, and 28<sup>th</sup> 2018  
Cartagena de Indias Convention Center, Colombia