

# Análisis del empleo de barros boratados como materia prima para la construcción

Horacio R. Flores<sup>1</sup>, Lilian E. Mattenella<sup>2</sup>, Silvana K. Valdez<sup>3</sup>, Adolfo N. Riveros<sup>4</sup> y Leung H. Kwok<sup>5</sup>.

## Resumen

El boro en exceso es perjudicial para la actividad agrícola. Las empresas productoras de ácido bórico ubicadas en el Valle de Lerma, Salta, emplean ulexita y ácido sulfúrico, dejando una cantidad importante de colas de procesos acumuladas en diques impermeabilizados.

Trabajos previos demostraron la posibilidad de emplear dichas colas como materia prima para la obtención de nuevos productos cocidos.

En este trabajo se estudia el empleo de colas como materia prima única y con agregado de cal, en la fabricación de materiales de construcción. Se determinaron propiedades físicas (encogimiento y resistencia mecánica) y la solubilidad del contaminante (boro) en agua.

*Palabras clave:* colas de proceso, ácido bórico, materia prima, boro

## Abstract

Boron excess is harmful for farm activities. Boric acid producers placed in Valle de Lerma, Salta, use ulexite and sulphuric acid as raw materials, putting a significant tailing amount aside.

Previous research has shown the possibility of using boric acid process tailings as raw materials for the manufacture of new roasted products.

The use of tailings as one-on-a-kind raw material or combined with lime for the manufacture of building bricks is presented in this paper. Physical properties (shrinking and

1. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta. Investigador Independiente, Instituto de Investigación para la Industria Química (INQUI-CONICET).

2. Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta. Profesional de Apoyo de Investigación, Instituto de Investigación para la Industria Química (INQUI-CONICET).

3. Jefe de Trabajos Prácticos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta. Investigador Independiente, Instituto de Investigación para la Industria Química (INQUI-CONICET).

4. Jefe de Trabajos Prácticos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.

5. Profesor adjunto, Consejo de Investigación, Universidad Nacional de Salta.

mechanical resistance) and the solubility of boron have been measured.

*Keywords:* boric acid tailings, boron, raw material, bricks

## Introducción

El ladrillo cerámico de construcción está compuesto básicamente por arcilla cocida. Otorga a la construcción civil la mayor sostenibilidad y durabilidad.

Se pueden clasificar de acuerdo al volumen de huecos y a su función estructural. Se consideran ladrillos cerámicos macizos a los mampuestos cuya sección de asiento (según cualquier pla-

no paralelo a la superficie) sea mayor del 80% del área bruta correspondiente, superficie de poros en la misma sección transversal menor al 4%, el espesor de sus paredes mayor de 2,5 cm y el volumen de huecos < 15% (respecto al volumen total).

La principal materia prima para la elaboración de ladrillos es la arcilla, material plástico con gran contenido de agua, que permite ser moldeada y endurecida por cocción (calcinación a temperaturas entre 900 y 1000 °C). Es importante conocer sus propiedades químicas, mineralógicas, físicas (granulometría, plasticidad, aptitud para el secado) debido a que la calidad del producto depende de ellas. Por ejemplo, la presencia de sales y óxidos higroscópicos que al hidratarse producen roturas y/o manchas blancas disminuyen la calidad del producto.

Las dimensiones del ladrillo común se encuentran entre 26,5-27 cm de largo (l), 12,5-13 cm de ancho (a) y 6-7 cm de espesor (e). Las medidas están relacionadas para posibilitar su uso como se muestra en las ecuaciones 1 y 2:

$$l = 2a + 1 \text{ junta} \quad (1)$$

$$a = 2e + 1 \text{ junta} \quad (2)$$

Los ensayos de compresión en probetas para ladrillos de primera calidad llegan a una resistencia a la rotura de 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Son de aplicación las normas IRAM 12502 (nomenclatura y definiciones), 12585 (geometría), 12586 (resistencia a la compresión), 12587 (resistencia a la flexión), 12588 (adsorción de agua por inmersión), 12566-1 (requisitos para ladrillos cerámicos macizos para la construcción de muros), 12599 (volumen, densidad). Toledo et al. [1] midieron las propiedades físicas de mampostería reforzada con materiales compuestos siguiendo normas IRAM.

Los ladrillos cerámicos macizos deben cumplir con la norma IRAM 12566-1 excepto en lo relativo al valor de la resistencia característica mínima a la compresión que no podrá ser inferior a 5,0 MPa.

Pueden adoptarse resistencias características mayores que la indicada, cuando así resulte de aplicar el criterio probabilístico establecido (La

resistencia característica se determinará considerando la probabilidad de que su valor sea alcanzado por el 90 % de las piezas ensayadas).

También se pueden adoptar resistencias declaradas por el fabricante cuando éste presente una certificación emitida por tercera parte independiente, otorgada por un organismo reconocido, a través de laboratorios acreditados o de trayectoria altamente confiable y que se encuentre vigente a la fecha de presentación, siempre que esas resistencias verifiquen la resistencia característica mínima indicada en el primer anterior

La industria boratera del NOA deja una gran cantidad de material residual procedente de:

-La clasificación del material extraído de mina, apartando el de baja ley de boro, de escaso valor comercial y/o que no posee características adecuadas para la concentración y extracción de B.

-Las colas de los procesos de obtención de bórax y ácido bórico, acumuladas en diques a la intemperie.

Los trabajos de Valdez et al. [2] y Flores et al. [3], [4], demostraron la posibilidad de emplear las menas de baja ley de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la formulación de micronutrientes agropecuarios de liberación controlada de B, aumentando su valor comercial.

Las colas de procesos de obtención de bórax y de ácido bórico están constituidas principalmente por arcillas, arenas, cloruros y sulfatos. Ozdemir y Kipca [5] estudiaron la recuperación de boro de los barros residuales de la industria boratera.

Demibas y Karslioglu [6] estudiaron el comportamiento del cemento y del concreto en presencia de compuestos de boro.

Las empresas borateras ubicadas en el Valle de Lerma (Salta), acumulan en diques impermeabilizados más 500.000 toneladas de colas de procesos, que deben ser reutilizados como materia prima para nuevos productos o reciclados para evitar riesgos de contaminación ambiental, Mattenella et al. [7]. Asimismo, Uslu y Arol [8] demostraron la posibilidad de emplear parcialmente las colas de procesos como materia prima para la producción de ladrillos cocidos en horno a temperatura entre 900-1000 °C aprovechando el alto contenido de arcilla y la propiedad de

fundente de los boratos.

En el presente trabajo se muestran los valores medidos de propiedades físicas de probetas moldeadas empleando los barros residuales de la industria boratera local y cocidas a diferentes temperaturas: geometría (dimensiones antes y después de la cocción), la resistencia mecánica (a la compresión y a la flexión) y la solubilidad del boro (una medida inversa de la fijación del boro en las probetas).

### Materia Prima

Se empleó como materia prima una cola de proceso de obtención de ácido bórico (barro) a partir de mineral ulexita por lixiviación con ácido sulfúrico.

Del análisis granulométrico realizado se determinó el tamaño medio (aritmético) de partícula,  $\overline{D_P}$  : 84,5  $\mu\text{m}$  (micron), humedad: 25,7 % y peso específico: 2,23 g/cm<sup>3</sup>.

La Tabla 1 muestra la composición química y las especies estimadas constituyentes del barro (base seca):

Tabla 1. Composición química y especies estimadas del barro empleado en la experimentación

Análisis químico (%)		Especies estimadas (%)	
Humedad	1,81	Agua	1,8
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total	2,53	Ulexita sin reaccionar	5,9
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> soluble	0,77	Ácido bórico	1,4
Insolubles	32,56	Arenas, arcillas	32,5
Sulfatos	35,47	Yeso (*)	63,5
Cloruros	2,0	Sal	3,3

(\*) Parte de los sulfatos puede encontrarse como sulfato de sodio.

### Experimentación

A fin de caracterizar el comportamiento mecánico de los ladrillos obtenidos con los barros efluentes de la producción de ácido bórico se realizaron determinaciones experimentales conducentes a:

- Determinar la influencia de la temperatura de cocción sobre el barro tal cual
- Determinar la influencia del agregado de cal en la mezcla empleada en la conformación del ladrillo.

Los ladrillos (probetas) se obtuvieron siguiendo la técnica tradicional de amasado, formado y pren-

sado, aplicando una fuerza de 3 toneladas. Luego se secaron en estufa a 60 °C durante 10 días registrándose una pérdida de humedad promedio de 0,6 % /día.

La cocción de las probetas se realizó en mufla a una velocidad de calentamiento de 5 °C/min hasta alcanzar la temperatura deseada, en la cual permanecieron durante 1 hora. Luego se enfriaron naturalmente hasta temperatura ambiente.

En la determinación de resistencias, a la flexión y a la compresión, se empleó el equipamiento mostrado por Toledo et al. [1].

La carga de rotura a flexión viene dada por la expresión:  $R = 3 W \cdot l / 2 bh^2$ , siendo:

R: carga de rotura a flexión (kg/cm<sup>2</sup>)

W: carga vertical aplicada (Kg)

l: longitud entre apoyos (cm)

b: ancho de la probeta (cm)

h: altura de la probeta (cm)

Se requieren unas 10 probetas para poder dar un valor medio fiable.

La fijación del boro en las probetas cocidas se determinó por vía indirecta, mediante análisis químico del boro soluble en agua, contenido en las probetas convenientemente molidas.

### Resultados obtenidos

#### Geometría

Se observó un aumento de rupturas con el aumento de la temperatura de cocción, desde 11 % a 400 °C hasta 20% a 1000 °C. La Figura 1 muestra una imagen de las probetas obtenidas a temperaturas de cocción entre 60 °C y 950 °C.

Se midió el cambio en la longitud de las probetas por efecto de la cocción. Se registró encogimiento desde 13 % a 400 °C hasta 10, 2% a 1000 °C, valores en el rango de los mencionados por Uslu y Arol [8]. En el mismo sentido se observó aumento de la rugosidad, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Ladrillos (probetas) de barro cocido a distintas temperaturas

### Resistencia mecánica

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos de resistencia a la flexión a temperaturas entre 60 y 950 °C, para probetas de barro tal cual y con agregado creciente de cal en polvo (5, 10 y 20% en peso). La reacción de fraguado se inicia a aproximadamente 700 °C. A partir de allí la resistencia a la flexión se incrementa notablemente.

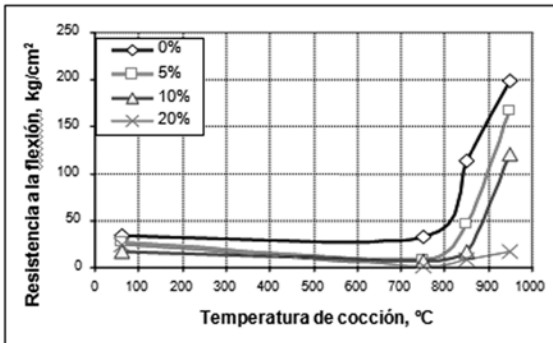


Figura 2. Influencia de la temperatura de cocción sobre la resistencia a la flexión

La influencia del agregado de cal sobre la resistencia a la flexión se ve evidente en la Figura 3, tomando como parámetro a la temperatura de cocción. Contrariamente a lo esperado la cal actúa disminuyendo la resistencia a la flexión. Probablemente, el sulfato de sodio contenido en el agua madre que impregna al barro reacciona con la cal produciendo yeso, material blando de baja resistencia mecánica, que se suma al procedente del material crudo (cola).

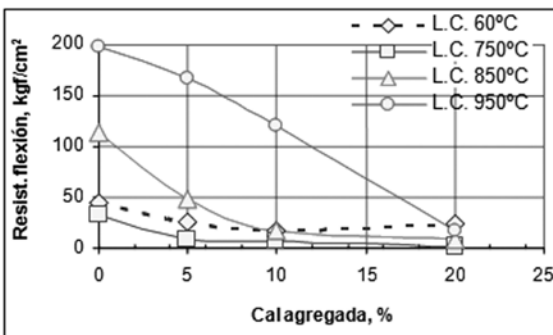
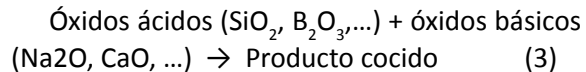


Figura 3. Influencia del agregado de cal sobre la resistencia a la flexión

Desde otro punto de vista, el endurecimiento se explica por la reacción pirometalúrgica entre óxidos de comportamiento básico y óxidos de comportamiento ácido contenidos en la probeta

a cocer, indicada en la ecuación 3.



La reacción (3) es la que también justifica el endurecimiento ocurrido en los procesos de fabricación de pelets y sinter siderúrgico, motivada por la aparición de una escoria que al solidificar aglomera las partículas constitutivas. Puede definirse un índice de basicidad (ecuación 4) con el cual caracterizar el comportamiento del producto cocido.

$$i_B = \frac{[\text{óxidos básicos}]}{[\text{óxidos ácidos}]} = \frac{[\text{Na}_2\text{O}][\text{CaO}]}{[\text{SiO}_2][\text{B}_2\text{O}_3]}$$

donde [x] es la concentración molar o el % en peso del óxido. Para el cálculo deben considerarse las especies (expresadas como óxidos) intervinientes en la reacción de fijación del boro. Además del calcio aportado como cal, de la composición indicada en la Tabla 1 se infiere que el B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O y parte del CaO provienen de la ulexita (Na<sub>2</sub>O.2CaO.5B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.16H<sub>2</sub>O), mientras que la sílice (SiO<sub>2</sub>) proviene del material insoluble (arenas, arcillas, etc.).

i<sub>B</sub> toma valores entre 0,035 para el barro sin agregado de cal y un valor máximo de 0,70 obtenido al mezclar el barro con cal (20% en peso).

La resistencia a la compresión para probetas sin cal se incrementa desde 62,5 kg/cm<sup>2</sup> para probetas sin cocer, a 187 kg/cm<sup>2</sup> para probetas cocidas a 950°C. La presencia de cal disminuye la resistencia a la compresión a 31,2 kg/cm<sup>2</sup> para ladrillos sin cocer y 156 kg/cm<sup>2</sup> para probetas cocidas, con 10% de agregado de cal. observa un comportamiento comparable al de la resistencia a la flexión.

### Solubilidad en agua

En la Figura 4 se observa que el incremento de temperatura por encima de la requerida para la reacción de endurecimiento disminuye notablemente la solubilidad del boro. La presencia de cal, en menor medida, también modifica la solubilidad del boro contenido en las probetas. Su empleo no resulta conveniente ya que, en todos los casos, las probetas cocidas sin agregado de cal poseen menor solubilidad de boro que aquellas obtenidas mezclando 5, 10 ó 20% de cal. A



temperatura ambiente, la disminución de solubilidad que ocurre con un agregado de 20% de cal se adjudica a su reacción con el ácido bórico (soluble) transformándolo en un borato de calcio insoluble (colemanita).

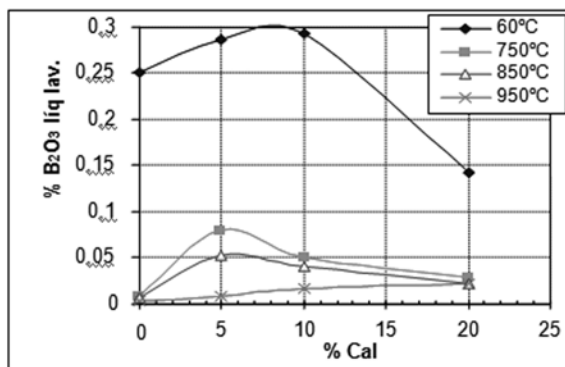


Figura 4. Influencia del agregado de cal sobre la solubilidad del B en agua

### Conclusiones

La reacción de endurecimiento provoca la insolubilización del boro. Para probetas sin agregado de cal, la solubilidad del boro disminuye desde 0,25% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a 60 °C hasta 0,003 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para probetas cocidas a 950 °C. El agregado de cal posee efecto negativo, incrementando el contenido de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> del líquido de lavado.

Asimismo, las resistencias a la flexión y a la compresión se ven notoriamente incrementadas por la cocción. Se obtuvieron valores de 187 y de entre 100 y 200 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión y a la flexión, respectivamente, que aseguran su posible empleo como materiales de construcción.

Es aconsejable un cambio de escala conducente a la obtención de ladrillos comunes sobre los cuales realizar una caracterización similar a la empleada en este trabajo.

### Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del personal técnico de planta piloto y laboratorio de análisis químico del área de Beneficio de Minerales del Instituto de Investigación para la Industria Química (INIQUI), dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científica y Técnicas (CONICET).

### Referencias

[1] TOLEDO, Mario, W. E., CEBALLOS, Alejandra, SERAPIO, Leonardo, ROUGIER, Viviana, (2009). Mampostería reforzada con materiales compuestos. *Revista Tecnología y Ciencia*, 8(16): 60-66.

[2] VALDEZ, Silvana, FLORES, Horacio R., TAPIA Claudia, (2012) Aprovechamiento de las colas del proceso de producción de ácido bórico, *Ingeniería Química*, Nº 502: 66-70.

[3] FLORES, Horacio R. (2012). Micronutrientes de boro. EUNSa, Salta, Argentina.

[4] FLORES, Horacio R., MATTENELLA, Lilian E., KWOK, Leung H.; VALDEZ, Silvana K. (2009). Parámetros para la estimación de la vida útil de un micronutriente de boro. *Actas V Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA, Salta, Argentina*.

[5] OZDEMIR, M., KIPCA, K. I., (2010). Recovery of boron from borax sludge of boron industry. *Minerals Engineering*, 23(4): 685:690.

[6] DEMIBAS, A., KARSLIOGLU, S., (1995). The effect of acid Borax sludges containing borogypsum on properties of cement. *Cement and Concrete research*, 25(7):1381-1384.

[7] MATTENELLA, Lilian E., RIVEROS, Adolfo N., FLORES, Horacio R., KWOK, Leung H., VALDEZ, Silvana K. (2012). Utilización en cerámica de barros efluentes de la producción de ácido bórico. *Avances en Ciencia e Ingeniería*, La Serena, Chile, 3(3): 173-180.

[8] USLU, T., AROL, A. I. (2004). Use of boron waste as an additive in red bricks. *Waste Management*, 24 (2), 217-220.

### Autores

FLORES, Horacio R.  
 Profesor Titular, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta  
 Investigador Independiente, Instituto de Investigación para la Industria Química (INQUICONICET)  
 Av. Bolivia 5150, Salta (4400), Argentina  
 Tel.:0387 4255374, Fax: 0387 4255451  
 hrflores@unsa.edu.ar

MATTENELLA, Lilian E.  
 Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta

Profesional de Apoyo de Investigación, Instituto de Investigación para la Industria Química (INQUI-CONICET)

Av. Bolivia 5150, Salta (4400), Argentina  
Tel.: 0387 4255412, Fax: 0387 4255451  
lematten@unas.edu.ar

VALDEZ, Silvana K.

Jefe de Trabajos Prácticos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta

Investigador Independiente, Instituto de Investigación para la Industria Química (INQUI-CONICET)

Av. Bolivia 5150, Salta (4400), Argentina  
Tel.: 0387 4255374, Fax: 0387 4255451  
svaldez@unsa.edu.ar

RIVEROS, Adolfo N.

Jefe de Trabajos Prácticos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta

Av. Bolivia 5150, Salta (4400), Argentina  
Tel.: 0387 4258718, Fax: 0387 4255451  
ariveros@unsa.edu.ar

KWOK, Leung H.

Profesor adjunto, Consejo de Investigación, Universidad Nacional de Salta

Av. Bolivia 5150, Salta (4400), Argentina  
Tel.: 0387 4255342, Fax: 0387 4255451  
khidalgo@unsa.edu.ar