

Producción de bórax y ácido bórico a partir de la boronatrocalcita

Jorge Luis Díaz Olaechea

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima.
Asistente administrativo-financiero de los laboratorios Floemmers.

Resumido por Daniel A. Kobayashi Yagi

El objetivo del presente proyecto es demostrar la rentabilidad de la industrialización del boro en el Perú debido al enorme potencial existente en recursos productivos, así como la conformación de un creciente mercado del boro y sus derivados. Por ello se pretende aplicar una tecnología estudiada, diseñada y experimentada en el Perú por profesionales y técnicos nacionales relacionados con la industria del boro, siendo esta tecnología la más adecuada para el tipo de materia prima existente en el país.

1. Definición del producto

La boronatrocalcita o ulexita ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$) es el más importante de los boratos en el Perú. Éste es un borato doble de sodio y calcio, de color blanco, estructura fibrosa, con un brillo mate como el de la seda, siendo análoga en apariencia al asbesto y a menudo impurificada con yeso y sal común, y que se presenta bajo dos formas: en gránulos y en masa compacta. Esta última es la que encontramos en mayor cantidad en el país.

En el Perú existe un yacimiento muy importante de mineral de boro, situado en la pampa de Salinas, distrito de San Juan de Tarucani, provincia de Arequipa, a una altitud de 4.250 msnm y dentro de la Reserva Nacional Salinas-Aguada Blanca, a 60 kilómetros de la ciudad de Arequipa. La boronatrocalcita que se encuentra en la laguna de Salinas, de origen volcánico, representa un yacimiento rico en este mineral, el más importante en el país y, con total seguridad, muy rentable en su explotación. Su extracción no requiere mayor laboriosidad ni inversión, pues para obtener el mineral basta con romper el caliche que lo cubre excavando una serie de huecos hasta una profundidad de un metro. El mineral se extrae con palas y se carga en carritos basculantes para luego proceder al secado de la humedad mas no de su agua de cristalización, con el fin de poder facilitar el transporte del mineral. Luego es colocado en sacos y se traslada en camiones hasta el lugar de almacenaje definitivo.

Las características que presentan el bórax y el ácido bórico son las siguientes:

- El bórax (tetraborato de sodio decahidratado, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ó $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) es una sal hidratada caracterizada de diversa forma según la manera de haber cristalizado. Es un producto intermedio importante como materia prima en una variedad muy grande de actividades industriales.
- El ácido bórico (ácido bórico, U.S.P. XVI [ácido ortobórico], H_3BO_3) cristalizado tiene forma de láminas blancas y brillantes, nacaradas. Es un producto químico intermedio de muy amplia utilización en diversas ramas industriales.

1.1 Usos

Entre sus usos más importantes están:

- En la fabricación de esmaltes y del vidrio de borosilicato, en la producción de envases de vidrio, artículos novedosos de cristal, vidrio para construcción y a veces en el vidrio plano, en las que el bórax facilita la fusión, el afinado y la conformación, y mejora algunas propiedades, como el color y la resistencia.
- En la industria del cuero: el bórax es empleado debido a sus propiedades ligeramente alcalinas preservativas. Se usa también en la preparación de una serie de compuestos para el acabado de las pieles.
- En la industria de los cosméticos: el bórax es un excelente emulsivo y se usa en la preparación de cremas faciales con base de cera y en otras composiciones que requieren un álcali suave y un preservativo no tóxico e inofensivo.
- En la industria química: el bórax y el ácido bórico cubren una gran gama de necesidades: se emplean desde hace muchos años como detergentes cuando se desea un álcali y un amortiguador suave; sirven para tratar los tejidos, la madera y otros materiales combustibles en los que funcionan como retardadores de la combustión; se les emplea como preservante de la madera, de los cueros sin curtir, del bagazo, la paja y otros materiales celulósicos; son muy usados en la elaboración de insecticidas; y se aprovechan en la fabricación de ceras y preparados a base de cera. El ácido bórico es empleado como ingrediente de polvos dentífricos y limpiadores de dentaduras; y forma adhesivos de caseína y de dextrina, dado su poder preservativo alcalino.
- En la industria fotográfica: para la fabricación de artículos destinados a dicho mercado.
- En la agricultura: el bórax se ha establecido firmemente como componente esencial de muchos fertilizantes artificiales.
- En la industria farmacéutica: el ácido bórico se usa en muchos preparados (antimicóticos, colirios, desinfectantes, etc.) en los cuales se desea una acción débilmente bacteriostática.

2. El mercado

En los últimos años, los mayores productores y proveedores de bórax y ácido bórico han sido Alemania, Estados Unidos y los Países Bajos. La comunidad andina se perfila como un mercado potencialmente importante para la industria del boro, pues el consumo de bórax y ácido bórico se está incrementando considerablemente, en razón del incremento de la producción de las industrias consumidoras de estos productos (farmacia, alimentos, siderurgia, vidrios y óptica, limpieza, curtiembre, insecticidas, etc.).

El Perú exporta ácido bórico, encontrando un amplio mercado entre los países de la comunidad andina, el cual podría verse incrementado aprovechando las facilidades arancelarias establecidas en los acuerdos bilaterales, así como en los acuerdos para el libre mercado y de integración que pronto estarán vigentes. Además Brasil, Chile y Estados Unidos se constituyen como grandes mercados potenciales para estos productos.

2.1 Demanda insatisfecha para el ácido bórico y el bórax en el Perú

Tomando en cuenta las proyecciones realizadas, y con un 15% de la producción orientándose hacia el mercado local, se tiene que la demanda insatisfecha de ácido bórico en el Perú, para el año 2005 será de 2.643.370,80 kilogramos. Asumiendo luego un grado de penetración en el mercado de 35% se obtendrá que la demanda para el proyecto será de 927.830,0 kilogramos al año.

De igual forma, para el bórax se calcula una demanda insatisfecha para el año 2005 de 727.247,5 kilogramos, por lo que se estima que con un grado de participación de 22,0% se alcanzará una demanda de 159.718,15 kilogramos al año.

2.2 Demanda internacional para el ácido bórico y el bórax

Considerando al Perú como el único productor de ácido bórico entre los países de la comunidad andina (Bolivia dispone de reservas de boro pero no cuenta con una industria desarrollada de la misma), y que el 18% de las exportaciones peruanas de este producto se orienta a dicho mercado (siendo Venezuela su

principal consumidor), se obtuvo que la demanda insatisfecha de ácido bórico en la comunidad andina para el año 2005 sería del nivel de 3.608.322,0 kilogramos al año. Asumiendo una posible penetración en el mercado de 30%, se consideró una demanda para el proyecto de 1.082.500 kilogramos al año.

Se estima además que con respecto a otros países del mundo se podrá alcanzar un nivel de ventas de 250.000 kilogramos al año.

Referente al bórax, se calcula que para el año 2005 la demanda insatisfecha del producto dentro de la comunidad andina alcanzará los 27.082.775,0 kilogramos, por lo que se estima que con un grado de participación del 6,8% se genere una demanda de 1.836.800,00 kilogramos al año.

Analizando todo lo anteriormente expuesto se pronostica que la cantidad anual de ácido bórico a producirse será de 2.260.330 kilogramos, mientras que para el caso del bórax su producción será de 1.996.518,15 kilogramos.

La modalidad de presentación de los productos bórax y ácido bórico será en polvo, de grado técnico para consumo industrial, en sacos de polietileno con capacidad de 50 kilogramos, sellados térmicamente para protegerlos contra la humedad y la intemperie, y con cubierta de polipropileno para una mejor conservación durante el transporte y para proteger la bolsa de polietileno contra cortes y perforaciones. Los productos entrarán al mercado basándose en los precios indicados en la revista *Chemical Marketing Reporter* de noviembre de 1995, la cual estableció para el bórax decahidratado 99,55% bulk, de grado técnico, un precio de US\$ 257,0; y para el ácido bórico, grado técnico bulk, un precio de US\$ 708,0.

3. Proceso de producción

Es de suma importancia destacar que la explotación del mineral sólo puede llevarse a cabo en los meses de estiaje de la laguna, es decir, en los meses de ausencia de lluvias debido a que se encuentra en una capa debajo de una costra salina, a la cual se puede acceder únicamente cuando la laguna está seca. Estos meses son desde abril hasta noviembre de cada año, dependiendo, obviamente, de las condiciones del clima, lo cual alargará o retrasará el período de explotación.

3.1 Ubicación y tamaño de la planta

La cercanía de los yacimientos donde se explotará el mineral será un factor de suma importancia para el proyecto. Aun cuando el mineral es secado en el mismo lugar de explotación, debido a su higroscopicidad podría ganar nuevamente humedad durante largos períodos de permanencia expuesto al ambiente. Además, si hay grandes distancias hasta el yacimiento dejarían el mineral a merced de las inclemencias del medio y al manipuleo excesivo, lo cual no es conveniente para la calidad del producto final.

Otro factor que debe considerarse será la proximidad de los mercados. Para ello la planta se ha de situar en una ubicación que permita una salida rápida y adecuada de los productos hacia los diferentes puntos de consumo, por lo que contar con la cercanía de un puerto marítimo o un aeropuerto será sumamente provechoso para el proyecto.

Analizando los dos puntos mencionados, junto a factores que van desde la disponibilidad de mano de obra, el abastecimiento de servicios básicos y la facilidad de transportes y fletes hasta los efectos del clima, la eliminación de desechos y las reglamentaciones legales y fiscales se optó por localizar la planta en el Parque Industrial de Arequipa. Dicha área cuenta con la infraestructura adecuada para un proyecto industrial de la naturaleza y de las dimensiones de éste y, por supuesto, se encuentra próximo al yacimiento de ulexita de la laguna de Salinas.

Con respecto a la definición del tamaño óptimo de la planta se pudo determinar que lo más adecuado será una producción de:

Línea de bórax	1.996.518,15 kg/año
Línea de ácido bórico	2.260.330,00 kg/año

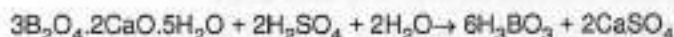
Estos niveles de producción son superiores al punto de equilibrio, lo cual permitirá generar beneficios para la empresa.

3.2 Descripción del proceso

Teniendo en cuenta el tipo y las características del mineral, existe una serie de métodos y procedimientos de obtención de bórax y de ácido bórico. De acuerdo con los diversos procesos analizados, y teniendo en cuenta las propiedades del material a tratar, se optó por el método desarrollado por el Itintec en el Proyecto de Investigación Tecnológica N° 3222, en dos etapas:

- a. Obtención de bórax a partir de la boronatrocalcita por el método de ataque con agua hirviendo, para disolver el borato de sodio y luego cristalizarlo como bórax.
- b. Obtención de ácido bórico a partir del borato de calcio insoluble obtenido en la primera parte del proceso, atacándolo con ácido sulfúrico diluido a 100° C.

Las reacciones que se presentan en el mencionado proceso son:



Ambos procesos siguen las siguientes etapas:

- Reacción (lavado) de la materia prima con agua caliente (o ácido sulfúrico según el caso) a 100° C, en un reactor agitador enchaquetado.
- Filtrado de la solución resultante de la reacción.
- Evaporación de la solución diluida para concentrarla hasta un nivel conveniente antes de su etapa de cristalización.
- Cristalización de la solución concentrada. Retorno del agua madre al proceso.
- Centrifugado de los cristales húmedos, eliminación de humedad excesiva.
- Secado del material.
- Empacado y almacenado.

Con respecto al balance de materia del proceso productivo se puede calcular que de 10.000 kilogramos de boronatrocalcita se puede obtener un total de 4.704,5 kilogramos de bórax y 4.581,3 kilogramos de ácido bórico, aunque estas cantidades podrían resultar menores debido a los retornos de material a los reactores.

La descripción del proceso y las características de los equipos para la fabricación de bórax y ácido bórico se detallan a continuación:

3.2.1 Línea de bórax

- **Preparación de materia prima:**

La materia prima no es uniforme por lo que se requerirá una homogeneización en el tamaño de sus partículas; por ello antes de su distribución en el silo de alimentación o en el área de almacenamiento habrá de ser descargada en una tolva que la conducirá hacia un desterronador con capacidad de tratamiento de 5 toneladas por hora y material de construcción de acero al carbono.

- **Reacción:**

Para el proceso de obtención del bórax, cierta cantidad de agua será ingresada junto con la boronatrocalcita ya acondicionada en una proporción de 8,44 a 1 hacia un reactor agitador de 2.000 galones de capacidad, durante 40 minutos, bajo una temperatura de 100° C. De esta reacción serán obtenidos el bórax decahidratado, los boratos de calcio (necesarios para la obtención del ácido bórico) y el agua que será posteriormente recirculada en el sistema. Este reactor será fabricado interiormente de acero inoxidable SS 304 y exteriormente de acero al carbono, y contará con un enchaquetamiento externo de ½ coil para el paso de vapor de agua para su calentamiento.

- **Filtración:**

Los compuestos resultantes de la reacción serán ingresados a un filtro prensa de platos y marcos fabricado en acero dulce durante un lapso de 1,5 horas. De ella serán separados los boratos de calcio y otros sólidos, mientras la solución de bórax y agua serán enviados a la siguiente operación.

- **Evaporación:**

A fin de eliminar el agua excedente, la solución de bórax ingresará a un evaporador de simple efecto, fabricación de acero al carbono y de operación continua, introduciéndose a una temperatura inicial de 45° C y alcanzando una temperatura final de 80° C. Mediante esta operación se logrará que de 6,94 gramos de bórax por 100 gramos de agua se alcance una concentración de 9 gramos de bórax por 100 gramos de agua.

- **Cristalización:**

En esta etapa, un cristalizador Swenson Walker con agitador, fabricado en acero con forro externo de caucho, recibirá la solución concentrada y calentada de bórax con el fin de enfriarla provocando la precipitación del soluto con un manejo adecuado de su solubilidad. La solución proveniente del evaporador ingresará con una temperatura de 80° C y mediante intercambio de calor con agua de enfriamiento logrará alcanzar una temperatura de 10° C permitiendo la formación de cristales de bórax. Para este proyecto se incluirá una lámina de acero inoxidable en el fondo del cristalizador para evitar el deterioro de los cristales, además que el agua madre obtenida será puesta en recirculación para su máximo aprovechamiento.

- **Centrifugación:**

Los cristales de bórax con agua de cristalización se llevarán hacia una centrífuga de acero 316 SS con el fin de eliminar el agua en exceso. Como producto se obtendrán cristales húmedos de bórax, cuya humedad será eliminada durante el transcurso de las siguientes operaciones.

- **Secado:**

Con el fin de lograr el secado de los cristales húmedos de bórax se ingresará por lapsos de 15 minutos cada lote de material a tratar bajo una temperatura de 15° C a los que se les hará circular un flujo de aire seco con lo que se tratará de retirar la mayor cantidad de agua presente en el mineral. El equipo estará compuesto por bandejas de acero inoxidable y un secador de acero al carbono.

- **Empacado:**

Una vez secado el producto final, éste pasará a una tolva a partir de la cual se llenarán los sacos. Posteriormente se sellarán y luego almacenarán de manera adecuada a la espera de su comercialización.

3.2.2 Línea de ácido bórico

La torta de boratos de calcio (colemanita) junto a un 10% de agua en peso obtenido del filtrado de la solución de bórax pasa-

rá a un segundo reactor de agitación, donde reaccionará con ácido sulfúrico para formar ácido bórico y sulfato de calcio. Al igual que en el reactor de la línea de bórax la reacción se efectuará durante 40 minutos a una temperatura de 100° C. Dada la acción corrosiva del ácido sulfúrico se empleará un reactor agitador enchaquetado de material carpenter 20 en su parte interna y de acero al carbono en su parte externa.

A partir de este proceso se llevarán a cabo las mismas operaciones realizadas durante la producción de bórax, variando tan sólo los materiales de fabricación de los equipos para evitar posibles corrosiones en ellos.

4. Las inversiones

Con el fin de lograr una cotización de todos los elementos, necesarios para la instalación de la planta, se habrá de determinar la estructura económica de las inversiones para el proyecto, calculando las inversiones fijas que se deben hacer ya sea para tangibles como para intangibles, además del capital de trabajo necesario para la actividad productiva.

Referente a la inversión fija intangible se incluyen en ella los rubros concernientes a los estudios y proyectos de ingeniería, estudio del impacto ambiental (muy importante pues permitirá acceder al crédito que proporciona el BID en su programa ProBID en coordinación con Cofide), los gastos de constitución y organización, los gastos de financiación del préstamo, la licencia de tecnología, la asistencia técnica, los gastos de entrenamiento de personal, los intereses durante la constitución, los gastos de puesta en marcha y los imprevistos.

Tabla I

Rubros	US\$
Total inversión fija intangible (17,0%)	331.500,00
Inversión fija tangible:	
Costo del terreno	79.050,00
Gastos de infraestructura	35.000,00
Construcciones civiles	216.500,00
Maquinaria y equipo	411.500,00
Instalaciones y montajes	101.755,00
Tolva de recepción	42.000,00

Compresora		39.000,00
Tuberías		44.500,00
Instrumentación		25.000,00
Eléctricos		25.000,00
Servicios auxiliares		120.500,00
Mantenimiento		12.000,00
Control de calidad		8.000,00
Seguridad y contra incendios		18.000,00
Muebles y enseres		23.895,00
Vehículos		36.000,00
Montacarga		25.000,00
Imprevistos		63.300,00
Total inversión fija tangible	(68,0%)	1.326.000,00
Total de capital de trabajo	(15,0%)	292.500,00
INVERSIÓN TOTAL	(100%)	1.950.000,00

Una vez establecida la empresa se espera que en su cuarto año de vida alcance un ingreso total por ventas de bórax y ácido bórico ascendente a US\$ 1.832.529,4 y un nivel de egresos similar a US\$ 1.441.546,9, lo cual generará una utilidad significativa de US\$ 390.982,6, la que se irá incrementando hasta alcanzar en el décimo año de vida útil del proyecto la suma de US\$ 865.891,7.

5. El financiamiento

Se ha estimado que una buena proporción de la estructura capital/deuda será de 30% y 70%. En base a ello y de acuerdo con las líneas de crédito analizadas, el programa de financiamiento óptimo para el presente proyecto será el Programa Multisectorial de Crédito ProBID, el cual llegaría a financiar hasta el 60% de los requerimientos del proyecto a una tasa anual de 14%, por lo que para cubrir el 70% del total de la inversión con capital de préstamo requerido por el proyecto se procederá a solicitar un préstamo paralelo con un banco privado comercial (el cual también será empleado como intermediario financiero) a una tasa de 18% anual en dólares.

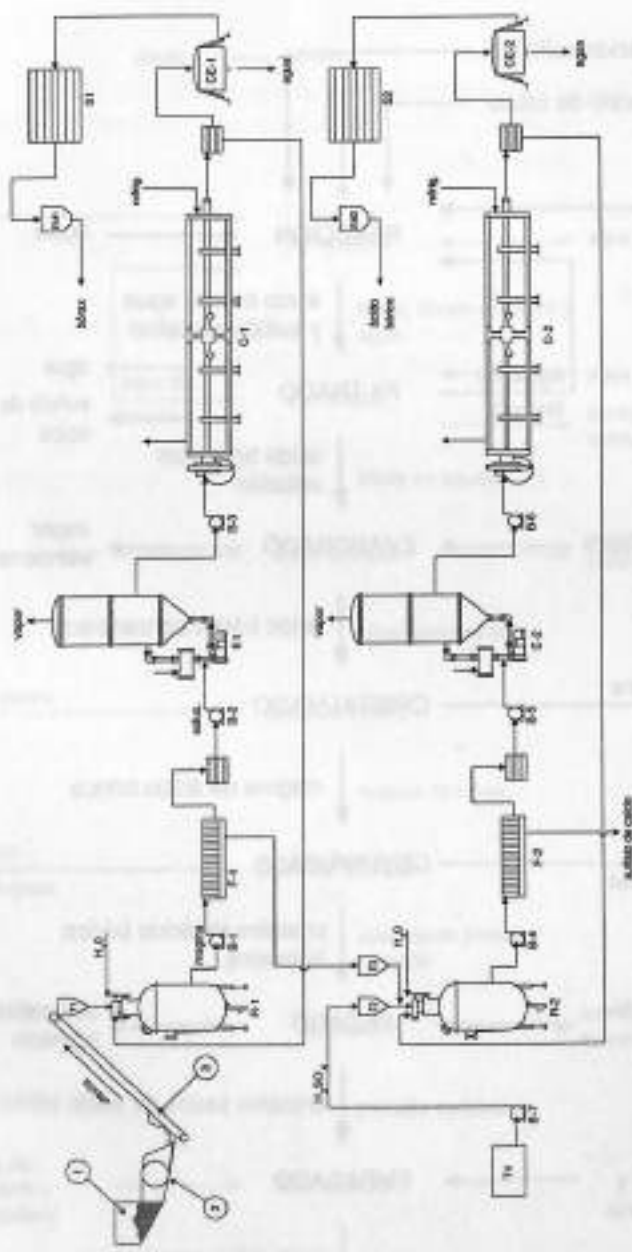
De esta manera la estructura del financiamiento se hallará formada por un préstamo del BID de US\$ 1.170.000,00, un préstamo de la banca privada ascendente a US\$ 195.000,00, y la aportación de capital propio por US\$ 585.000,00.

Se estima que el préstamo será otorgado con dos años de gracia y el principal será amortizado trimestralmente en un

plazo de ocho años, a partir del primer trimestre del año en que se inicie la producción y las ventas, es decir, el tercer año del proyecto. Se ha de considerar que las condiciones de pago serán las mismas tanto para el préstamo ProBID como para el del intermediario financiero.

Finalmente, en lo referente al análisis y evaluación económico-financiera, en base a la comparación de los beneficios generados y los costos incurridos durante la vida útil de la empresa se concluye que la ejecución del proyecto daría un resultado muy favorable, presentando para un período de diez años un VAN_E de US\$ 1.281.678,30, un VAN_F de US\$ 1.256.165,60, una TIR_E del 26,06% y una TIR_F del 39,15%, con lo que se comprobaría además las bondades y ventajas de realizar un financiamiento externo para cubrir la inversión proyectada.

Diagrama de flujo del proceso



- R-1, R-2 reactores 1 y 2
 F-1, F-2 filtros prensa 1 y 2
 E-1, E-2 evaporadores 1 y 2
 C-1, C-2 cristalizadores 1 y 2
 CE-1, CE-2 centrifugas 1 y 2
 S-1, S-2 secadores 1 y 2
 EM-1, EM-2 empaquetadoras 1 y 2
- B-2, B-3, B-5, B-6 bombas centrifugas
 B-1, B-4 bombas de diafragma
 B-7 bomba de diafragma interior Karbate
 T-1, T-2, T-3, T-4 tanques de alimentación diaria
- 1 tolva de alimentación de mineral
 2 desterronador de mineral
 3 faja transportadora

Diagrama de bloques del proceso
(línea de ácido bórico)



Diagrama de bloques del proceso
(línea de bórax)



Bibliografía

- Asociación de Exportadores del Perú (Adex)
Guía de Exportaciones. Lima: Centro de Documentación, 1994.
- Schenell Publishing Company, Inc.
Chemical Marketing Reporter, febrero, 1994.
- Ingemmet
Los boratos en el Perú. Lima: Banco de datos. Estudios Técnicos, A4492, 1992.
- Marchese G., Adolfo
"Concentración de minerales de boro". En: *Metalurgia y Minerales*. Vol. 1, N° 3. Lima: Universidad de Lima, 1993, p. 14.