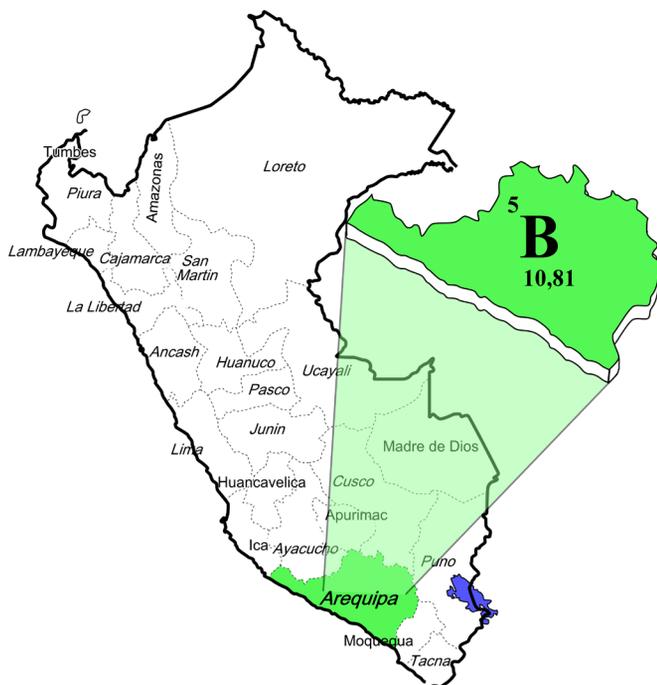


EL BORO Y EL MUNDO ARN

Roberto Laos; Steven Benner*



Además de sus usos comerciales, los minerales de boro han sido de interés para los investigadores que buscan encontrar una explicación a como se originó la vida en la Tierra. El mayor depósito de boro en el Perú se encuentra en un salar en el departamento de Arequipa.

Palabras clave: Boro, ARN, origen de la vida

Besides its multiple commercial uses, borate minerals have been recently of great interest for researchers seeking for an explanation to the origin of life on Earth. The largest borate mineral deposit in Peru is located in a salt flat in the Arequipa province.

Keywords: Boron, RNA, origin of life

El quinto elemento de la tabla periódica, el boro, es relativamente escaso en la corteza terrestre. No se le encuentra en su estado puro sino oxidado como borato. Los boratos, se encuentran como minerales en diferentes tipos de rocas, siendo el bórax, la ulexita, la colemanita y la turmalina los más comunes. Estas sales de boro son relativamente solubles en agua y es posible encontrarlas concentradas en salares. Uno de los depósitos mas grandes de sales de boro es el Valle de la Muerte en California, Estados Unidos. En Sudamérica es común encontrarlo en los salares en el altiplano andino. Estas lagunas por temporadas pierden por completo sus aguas dejando una costra de sal que contiene boratos entre otras sales. En el Perú, el mayor depósito de boro (como el mineral ulexita, $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), está en la Laguna de Salinas, un salar ubicado en el departamento de Arequipa a una altura de 4 300 msnm. Según el ministerio de Energía y Minas, el año 2018 se extrajeron más de cien mil toneladas de ulexita en el Perú⁽¹⁾. La principal compañía extractora es Inkabor.

El mineral de boro más utilizado es el bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), que se usa como un aditivo de detergentes para ropa. Los vidrios borosilicato, como el Pyrex®, están hechos

de una mezcla de boratos fundidos con sílice (SiO_2) y tienen la propiedad de expandirse muy poco con el calor lo que los hace resistentes a los cambios bruscos de temperatura, por lo cual son útiles tanto en el laboratorio como en la cocina. Los compuestos de boro son usados en la producción de pantallas LCD, paneles solares, preservantes para madera y para retardadores de llama. El boro también es un micronutriente necesario para el crecimiento de las plantas que, generalmente, se agrega como ácido bórico ($\text{B}(\text{OH})_3$).

EL ROL DE LOS BORATOS EN EL ORIGEN DE LA VIDA

El origen de la vida es una de las incógnitas mas difíciles e interesantes que buscan explicar científicos de diversas disciplinas. Se conocen varias piezas del “rompecabezas” como, por ejemplo, las siguientes: sabemos con certeza que ciertas moléculas orgánicas se pueden formar en el cosmos y llegar a la Tierra en meteoritos, sabemos que todas las formas de vida conocidas vienen de un ancestro común y también sabemos, gracias al famoso experimento de Stanley Miller, que es posible formar una serie de moléculas de importancia biológica (aminoácidos, entre otros) a partir de moléculas pequeñas (H_2O , CH_4 , NH_3 , H_2) expuestas a descargas eléctricas. Sin embargo, estas piezas no pueden ser ensambladas aún. Una de las dificultades ha sido que en las condiciones en que el experimento de Miller puede producir amino ácidos, la formación de la ribosa no es estable. Si bien el experimento de Miller marcó un hito en los estudios del origen de la vida, por

* Roberto Laos: Dr. en Química por la Universidad de Florida, Estados Unidos de América. Actualmente es investigador en la Foundation for Applied Molecular Evolution (Ffame) en Alachua, Florida. e-mail: rlaos@ffame.org

Steven Benner: Ha sido profesor en la Universidad de Harvard, ETH Zurich y en la Universidad de Florida. Es el fundador de Ffame y Firebird Biomolecular Sciences.

otro lado creó una paradoja: ¿Qué surgió primero, el ADN o las proteínas?

Existe una reacción conocida como la reacción de la formosa, propuesta por Butlerov en 1861 (**Figura 1**). Esta reacción ocurre en condiciones prebióticas (es decir antes que apareciera la vida). Los materiales de partida son moléculas relativamente sencillas. Esta reacción produce una mezcla de azúcares en la cual la ribosa es un producto menor e inestable. Sin embargo, mis colegas en Ffame demostraron que los minerales de boro pueden estabilizar la síntesis de ribosa⁽³⁾, el azúcar de cinco carbonos que forma parte del ácido desoxirribonucleico (ADN). La idea de que minerales y arcillas puedan concentrar ciertos compuestos y/o catalizar reacciones no es nueva, pero la formación estable de ribosa no fue demostrada experimentalmente hasta el año 2004.

El boro, con tres electrones en su última capa, casi siempre está en busca de más electrones para completar su capa de ocho por lo que muestra una gran afinidad por moléculas orgánicas con dos grupos hidroxilo adyacentes. Estos dos oxígenos proporcionan cuatro de los cinco electrones que busca el boro. La ribosa en su forma cíclica tiene dos hidroxilos adyacentes por lo que puede donar los electrones que busca el boro. De esta manera la formación de ribosa se puede estabilizar en presencia de boratos. Este descubrimiento reforzó otra teoría conocida como el mundo ARN⁽²⁾. En este mundo ARN, esta macromolécula habría actuado tanto como catalizador como almacén de información (la función que cumple ahora el ADN). Este escenario habría ocurrido antes que haya aparecido el primer organismo viviente. La hipótesis del mundo ARN necesita apoyarse en una explicación de cómo apareció la ribosa en condiciones prebióticas. La falta de una ruta plausible en condiciones prebióticas fue por mucho tiempo una debilidad de esta hipótesis. Stanley Miller sostenía que la inestabilidad de los carbohidratos era tal que no podrían tener ningún rol en la química prebiótica.

El rol de los minerales de boro ha cobrado importancia en los últimos años. En el año 2011 un estudio detallado por mis colegas en Ffame mostró como la presencia de formaldehído guía la formación de carbohidratos a partir de formaldehído y glucolaldehído hasta formar especies con cinco

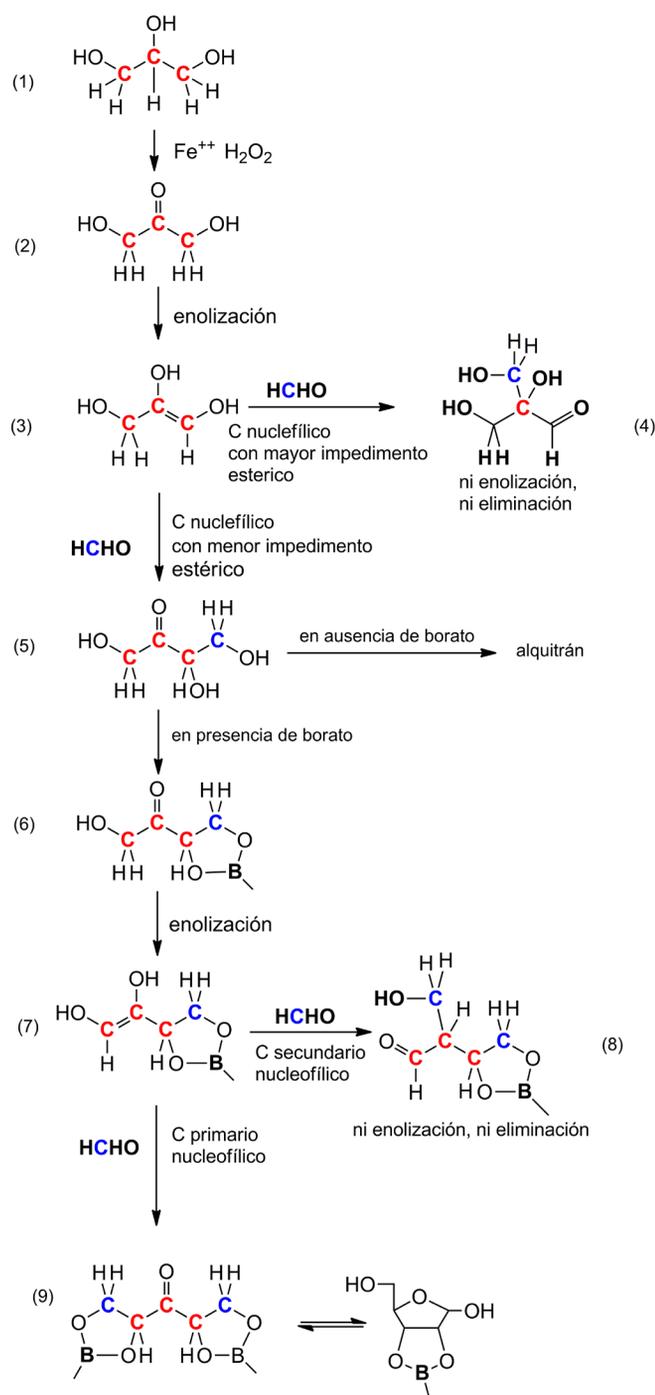


Figura 1. Mecanismo posible para la formación de ribosa a partir de glicerol en condiciones prebióticas con la intervención obligada de boro. El glicerol(1) en presencia de H_2O_2 y Fe^{2+} , puede ser oxidado a dihidroxiacetona (DHA). La enolización de DHA puede formar (3), que tiene dos centros nucleofílicos. El carbono con mayor impedimento estérico de (3) produce el compuesto (4), un producto terminal. El carbono con menor impedimento estérico en (3) reacciona con formaldehído produciendo (5), el cual puede formar un complejo con borato pero puede aún formar un enolato (7), el cual al reaccionar con su carbono secundario forma otro producto terminal (8). Sin embargo, la reacción con formaldehído con su carbono primario produce (9) un isómero estructural de la ribosa el cual puede formar la forma cíclica de la ribosa por enolización.

* Esta idea fue propuesta por Alexander Rich en 1962. El año 1989 Thomas Cech y Sidney Altman ganaron el premio Nobel en química por su descubrimiento de las propiedades catalíticas del ARN.

1. Dirección de Promoción Minera del Ministerio de Energía y Minas, Boletín Estadístico Minero, edición 31, Lima, enero 2019. (📄)
2. Rich, A. *On the problems of evolution and biochemical information transfer.* In *Horizons In Biochemistry*, edited by M. Kasha and B. Pullman, Academic Press, New York, 1962. pp 103–126
3. Ricardo, A., Carrigan, M.A., Olcott, A.N., Benner, S.A. *Science*, 2004, 303, 196. (📄)

carbonos en el punto en que la reacción se detiene⁽⁴⁾. Mas recientemente, mis colegas han mostrado que los minerales de borofosfato selectivamente pueden fosforilar nucleosidos en la posición 5' ya que el borato coordina con los oxígenos 2' y 3' actuando como un grupo protector⁽⁵⁾.

Los minerales de boro también han sido encontrados en Marte. En noviembre del 2019, una conferencia en Carlsbad, Nuevo México, USA, congregará a varios científicos que creen que es posible que la vida habría surgido en Marte. Esta

conferencia se enfocará en discutir y comprender las estrategias para explorar y detectar vida no extinta en Marte. Varios de los trabajos a presentarse toman en cuenta a los minerales de boro. Inclusive, algunos sugieren que las condiciones para la química prebiótica habrían sido más favorables en Marte que en la Tierra.

Recibido: 30 de agosto 2019

Aceptado en forma final: 15 de octubre de 2019

4. Benner, SA; Kim, HJ; Yang, ZY *RNA Worlds: From Life's Origins to Diversity in Gene Regulation*, ed. John F. Atkins, Raymond F. Gesteland, Thomas R. Cech, Cold Spring Harbor Laboratory Press,

2011. pp. 7-19. ([📄](#))

5. Biondi, E., Furukawa, Y., Kawai, J. and Benner, S. A. *Beilstein J. Org. Chem.* **2017**, *13*, 393-404. ([📄](#))