

## Implicación del pH en la síntesis de silico-carbonatos de Ca (II), Ba (II) y Sr (II)

Haydee Alejandra Pérez-Hernández<sup>1,3</sup>, Christian Sujham Silva Rodríguez<sup>2</sup>, Mayra Cuéllar-Cruz<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Guanajuato, México.

<sup>2</sup>Escuela de Nivel Medio Superior Centro Histórico León, Universidad de Guanajuato, León, Guanajuato, México.

<sup>3</sup>Departamento de Biología, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, Col. Noria Alta, C.P. 36050, Guanajuato, Guanajuato, México. \*Email: mcuellar@ugto.mx

### Resumen

El origen de la vida está asociado a la era precámbrica, la cual data entre ~3000 a ~3500 millones de años atrás, y por ende, a las condiciones y presencia de elementos básicos para la vida en ese medio ambiente. En esa era, los factores abióticos hicieron posible el origen, desarrollo y mantenimiento de la vida, debido a que son considerados preponderantes en el origen químico de la vida, porque aunque no alberguen la vida en sí mismos, sin ellos, no hubiera sido ni sería posible el desarrollo y la supervivencia de los factores bióticos. En la era precámbrica se considera que el clima era inestable ya que era frío y húmedo, con épocas glaciares, pero cambiante a cálido y árido. Un factor importante desde esa época es el pH, ya que se ha mostrado que la vida no es posible a cualquier pH, si no que esta finamente regulado en los organismos. Con la finalidad de evaluar la implicación del pH desde la formación de la primera biomolécula y el primer organismo, varios grupos de investigación han desarrollado modelos de estudio, que han permitido empezar a elucidar cuales pudieron ser las primeras formas de vida, en este sentido se han sintetizado *in vitro* silico-carbonatos de calcio, estroncio o bario, denominados biomorfos, debido a que emulan morfologías de organismos como radiolarios, hojas, gusanos, entre otros. Aun cuando estos compuestos se han sintetizado *in vitro* en diferentes condiciones, es necesario analizar la influencia del pH en la morfología que adoptan. Con la finalidad de tener un mejor entendimiento acerca de la influencia del pH en la formación de los biomorfos, en el presente trabajo se revisa la importancia del pH en el origen químico de la vida, así como su influencia en la morfología de los biomorfos.

**Palabras clave:** Silico-carbonatos; pH; Biomorfos

### Introducción

Uno de los temas de interés permanente es el hecho de encontrar una explicación al origen químico de la vida en nuestro planeta. Durante décadas se han generado diversas teorías, provenientes de distintos grupos, por ende, con diferente ideología como fundamento. Dentro de estas teorías se pueden citar algunas tales como: i) creacionismo; ii) creacionismo clásico; iii) teoría de la generación espontánea; iv) panspermia; y v) teoría quimiosintética. Siendo la teoría quimiosintética, la más aceptada por la comunidad científica, la cual es una teoría formulada por Aleksandr I. Oparin, en donde se considera que después del Bing Bang, la atmosfera terrestre estaba formada por una composición atmosférica y química diferente a como la conocemos hoy en día, en donde predominaban el vapor de agua, el metano, el amoníaco, el dióxido de carbono y el hidrógeno (Wetto). No existía la capa de ozono como la conocemos hoy, lo que permitía que los rayos ultravioleta e infrarrojos llegaran a nuestro planeta directamente. No obstante, aun cuando se consideraban condiciones no favorables para sintetizar la primera biomolécula y consecuentemente el primer organismo, en esas condiciones reductoras, se produjeron los primeros compuestos orgánicos dando lugar a los "protobiontes" quienes, se considera que, debido a la evolución, fueron adquiriendo características de los organismos como los conocemos actualmente. En esta teoría se considera que los primeros organismos eran parecidos a las bacterias, quienes evolucionaron hasta llegar a organismos pluricelulares más complejos (Oparin, 1936). Una manera de mostrar que esta hipótesis puede ser la más cercana a lo que sucedió en la era precámbrica, fue mediante los experimentos de Miller y Urey, quienes, intrigados por la teoría de Oparin, decidieron crear una máquina, en la cual se pudieran recrear las condiciones de la atmosfera primitiva, estos científicos colocaron en los recipientes dos electrodos, agua,

metano, amoníaco e hidrógeno. Mediante los electrodos produjeron descargas eléctricas que hacían saltar chispas similares a las generadas por los relámpagos. El agua que simulaba los océanos primitivos fue llevada al punto de ebullición (Wetto). En ella se introdujeron una multitud de moléculas inorgánicas a partir de las cuales debían formarse seres vivos simples y sencillos. Se dejó trabajar la maquina por varios días, hasta que los científicos notaron que, en las paredes de ésta, se habían depositado algunas sustancias, las cuales, al analizarlas se dieron cuenta de que se trataban de varios compuestos orgánicos, entre ellos cuatro aminoácidos diferentes, los cuales intervienen en la formación de las proteínas. Desde entonces, siguen realizándose maquinarias para recrear dicho experimento, pero variando algunas cantidades de componentes, incluso algunas han introducido la participación de rayos infrarrojos y ultravioleta, dando como resultado más compuestos orgánicos (Wetto). De esta manera, se considera esta teoría como la más certera a lo que fue el origen de la vida. Desde hace varias décadas, varios grupos de investigación han empezado a elucidar cuales fueron las primeras formas de vida, en este sentido, se han sintetizado *in vitro* silico-carbonatos de calcio, estroncio o bario, denominados biomorfos, debido a que emulan morfologías de organismos. Los cuales, son estructuras químicas formadas por silico-carbonatos de metales alcalinotérreos y su morfología hace reminiscencia a las estructuras de fósiles, que existieron como seres vivos en la primera etapa de la historia de la Tierra.

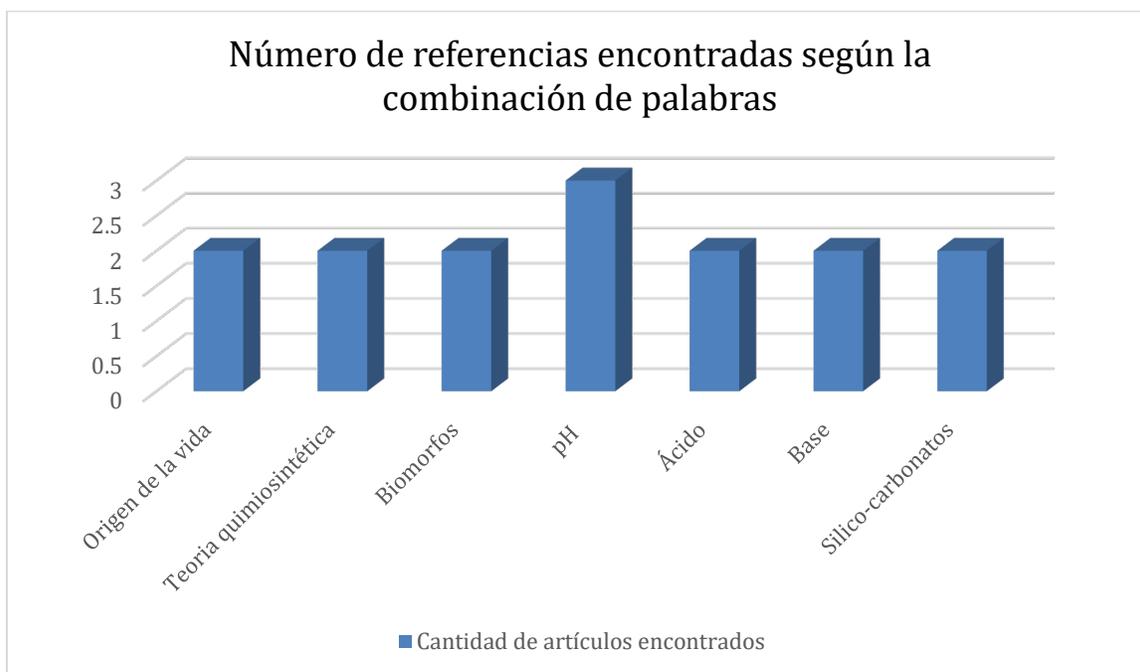
Actualmente, se sabe que podemos obtener biomorfos en un laboratorio, pero si nos preguntamos ¿cómo es que se relacionan con el origen de la vida?, esta pregunta sin duda es una gran interrogante a responder, en donde nuestro grupo de investigación se encuentra trabajando en esta dirección. Los biomorfos son compuestos por sílice y carbonato que son capaces de ensamblarse por sí mismos para crear simetrías, formas y texturas que recuerdan a las de los organismos vivos, todo esto bajo condiciones muy específicas, curiosamente similares a las condiciones que se presentaban en el planeta tierra hace millones de años, antes de que existieran organismos vivos como los conocemos actualmente (Soto, 2017).

Estas estructuras no presentan bordes ni ángulos definidos, son más bien superficies ligeramente curvadas, pero es impresionante ver el acoplamiento del carbonato y del sílice, ya que es una unión tan magnífica, que produce estructuras laminares, simulando olas del mar una sobre otra, que en conjunto forman estructuras parecidas, sumamente parecidas a los organismos vivos.

Químicamente hablando, podemos mencionar que además de tener una composición química definida, el pH es un factor determinante en la morfología que adoptan.

## Materiales y métodos

En el presente trabajo se consultaron las siguientes fuentes de información: primeramente, el libro “El Origen de la Vida” publicado por Aleksandr I. Oparin cerca de 1930, editorial de Escritores Mexicanos Unidos. Como segunda fuente de información encontramos un artículo de divulgación científica publicado en el diario “La nación” sitio web por Soto, M. Posteriormente un artículo de sitio web escrito por Wetto, M. También hicimos uso de un sitio web para significados y definiciones donde nuestro autor fue Yirda, A. Finalmente hicimos uso de un reporte de experimento titulado “morphology of gel-grown barium carbonate aggregates - pH effect on control by a silicate-carbonate membrane”, realizado por Thomas Baird, Paul S. Braterman, Peng Chen, Juan M. Garcfa-Rufz, Robert D. Peacock, y Allen Reid. Además, se consultaron varias bases de datos como PubMed de NCBI. Las palabras clave que se ingresaron fueron las siguientes: origen de la vida, teoría quimiosintética, biomorfos, pH, ácido, base, silico-carbonatos. Esta búsqueda de información se presenta en la gráfica 1.



Gráfica 1. Resultados de Búsqueda según las palabras utilizadas para referencia.

## Resultados

### Síntesis de silico-carbonatos a diferentes pH

Se define como pH a la unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución, más específicamente el pH mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada, el significado de pH en sus siglas es potencial de hidrogeniones (Yirda, 2021). Para poder determinar el pH de una sustancia, se utiliza una escala, la cual va desde el 0 hasta el 14, clasificando los ácidos desde 0 hasta abajo del 7, el 7 será neutro y arriba de 7 hasta 14 serán bases (Yirda, 2021).

En la síntesis de biomorfos, el papel del pH es sumamente importante, debido a que se van formando a partir de una solución de sílice, la cual es modificada con las condiciones en el medio de reacción incluido el pH. En este sentido, desde hace varias décadas se han sintetizado biomorfos a diferentes pH, e interesantemente se ha encontrado que la morfología es dependiente del pH (Carnerup, 2007; Eiblmeier, 2013).

Se ha documentado que está directamente relacionado el pH con las morfologías que se obtienen de los biomorfos. De esta manera, a pH básico aumenta la variedad de las morfologías de los biomorfos. Por ejemplo, en un intervalo de pH entre 9.90 a 10.80 se obtienen estructuras globulares, mientras que a pH de 10.85 a 11.42 se encuentran morfologías de gusano; a un pH más básico comprendido entre 11.11 a 11.42 se observan hélices. Resultados que indican que las morfologías de los biomorfos están directamente relacionadas con el pH del medio de síntesis (Carnerup, 2007; Eiblmeier, 2013; Opel y cols., 2018).

En trabajos en donde se han sintetizado biomorfos mediante el método de gel de agarosa a un pH menor a 9.5, el carbonato de bario muestra un crecimiento dendrítico normal (Baird y cols., 1992). A un pH más alto, precipita en forma de esferulitas (Baird y cols., 1992). El pH se ve afectado por otros componentes presentes en la mezcla de síntesis de los biomorfos. Un factor que afecta el pH es la concentración de sílice. De esta manera, al aumentar la concentración de sílice a 8.5 mM se favorecen las morfologías globulares, si se incrementa a 9.9 mM se obtienen formas helicoidales cortas y globulares. Finalmente, si la concentración se incrementa hasta 14.9 mM, se producirán varias morfologías como son gusano, doble hélice y globulares. En contra parte si disminuye la concentración disminuirá el tamaño de los biomorfos y

se darán estructuras de hojas. Otro factor que favorece la síntesis de otras morfologías es la concentración del elemento alcalinotérreo, de esta forma se ha encontrado que a mayor concentración por ejemplo de Bario, se obtendrán formas más ramificadas, dando gusanos y formas helicoidales (Carnerup, 2007). Finalmente, la temperatura también puede modificar la morfología de los biomorfos. A temperaturas de 5-10°C se obtienen estructuras globulares, de 20-25°C se obtienen estructuras de gusano, doble hélice y globulares, a 45°C se producirán conos y morfologías helicoidales, a temperaturas de 70-80°C los biomorfos son frágiles y delgados, dando conos, tentáculos y esferulitas (Carnerup, 2007; Opel y cols., 2018).

En otros trabajos se ha documentado que a pH de 9.5, los biomorfos presentaron morfología de espigas con una ramificación compuesta fina y densa hacia sus extremos (Fig. 1) (Baird y cols., 1992). A pH más alto, se obtienen estructuras más complejas, como son láminas y espirales que crecen a partir de masas globulares (Baird y cols., 1992). Comúnmente, las láminas eran más o menos planas y en forma de corazón, con un núcleo central de forma más compleja y espirales que se desarrollaban a partir de este núcleo o de la cúspide de la lámina. Las hojas individuales están formadas por cristalitos orientados hacia afuera desde el núcleo, los cuales, muestran un patrón cruzado (Figura 2). Además de la fina estructura interna que se observa entre los polarizadores cruzados, la superficie se pudo observar usando luz transmitida no polarizada o reflejada confocal (Figura 3).

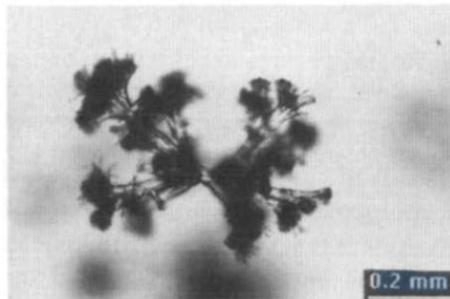


Figura 1. Biomorfo sintetizado en carbonato de bario en gel mixto de agarosa-sílice, pH 9.5. Micrografía óptica in situ. Tomado con permiso de Baird y cols., 1992.

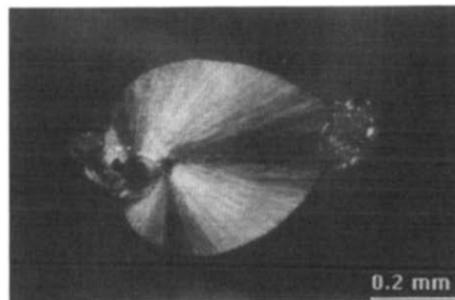


Figura 2. Biomorfo sintetizado en lámina de carbonato de bario en gel de sílice, pH 10. Micrografía óptica in situ entre polarizadores cruzados. Obsérvese el patrón de Cruz de Malta, estructura angular, crecimiento en espiral complejo en la cúspide. Tomado con permiso de Baird y cols., 1992.

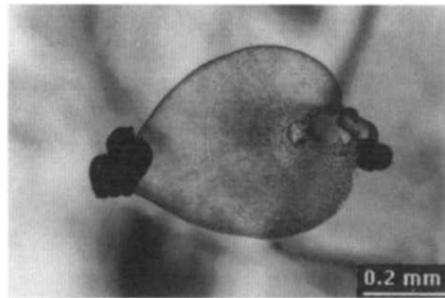


Figura 3. Biomorfo sintetizado en lámina de carbonato de bario en gel de sílice, pH 10. Micrografía óptica in situ con luz polarizada. Note la superficie. Tomado con permiso de Baird y cols., 1992

En varios biomorfos, las hojas mostraron un hábito que recuerda al hermanamiento (Figura 4), lo que en algunos casos dio lugar a formas complejas parecidas a flores (Figura 5) (Baird y cols., 1992). Mientras a un pH mayor a 10.2, algunos biomorfos tenían núcleos esferulíticos redondos, a partir de los cuales se desarrollaron espirales relativamente largas (Figuras 6 y 7), que terminaban en masas apretadas y, a veces, se ramificaban (Figuras 8 y 9) (Baird y cols., 1992).

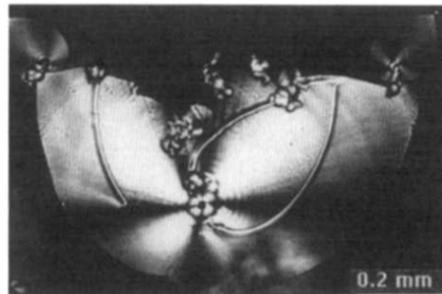


Figura 4. Biomorfo sintetizado en carbonato de bario en gel de sílice a un pH de 10.0. Tomado con permiso de Baird y cols., 1992.

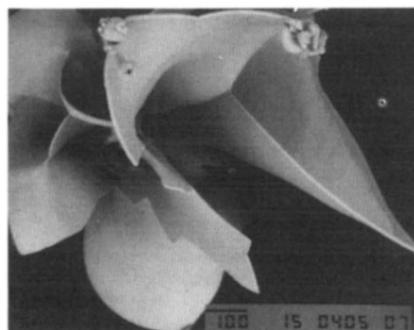


Figura 5. Biomorfo similar a una flor sintetizado en carbonato de bario a un pH de 10.0. Tomado con permiso de (Baird y cols., 1992).

En conjunto estos resultados nos permiten observar que al aumentar las concentraciones de carbonato a las soluciones de 0.05 a 0.1 mm no impacta en la morfología como el pH. Como observamos a pH bajo se presentaron espigas más gruesas, y en algunos casos se observó un fuerte aumento en el grosor de las ramas a cierta distancia del núcleo. Mientras a un pH más alto y una mayor concentración de carbonato condujo a espirales más apretadas (Baird y cols., 1992). El efecto de la adición de cloruro de sodio (o el uso de ácido clorhídrico en lugar de resina de intercambio iónico en el proceso inicial de neutralización) fue similar al de un aumento del pH, favoreciendo la formación de formas complejas en lugar de dendríticas. Por lo tanto, en ausencia de cloruro de sodio agregado, el umbral para la formación de IMCA fue alrededor de 1.5 unidades de pH más alto que en el trabajo donde se usaron geles neutralizados con ácido (Baird y cols., 1992).

## Conclusiones

La síntesis de los silico-carbonatos se favorece a pH básico, lo que indica que su obtención esta finamente regulada, al igual que ocurre con los sistemas de equilibrio ácido-base en los organismos vivos. Este hecho puede ser un punto de enlace entre la era Precámbrica hasta nuestros días, debido a que la síntesis de los biomorfos se encuentra finamente regulada, sugiriendo que el fenómeno de la vida desde el inicio en la era Precámbrica estuvo regulada, la cual, se ha conservado hasta nuestros días.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias al financiamiento del Proyecto Número CF19-39216 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México, y del Proyecto-Institucional UGTO-022/2021 de la Universidad de Guanajuato, otorgados a la Dra. Mayra Cuéllar Cruz. Haydee Alejandra Pérez-Hernández y Christian Sujham Silva Rodríguez agradecen la beca otorgada al Programa del XXVI Verano de la Ciencia 2021.

## Bibliografía/Referencias

- Anna Carnerup. (2007). Biomorphs: morphology, chemistry, and implications for the identification of early life (Tesis doctoral). The Australian National University. Australia.
- Eiblmeier Josef, Kellermeier Matthias, García Ruiz Juan Manuel, Kunz Werner. Effect of bulk pH and supersaturation on the growth behavior of silica biomorphs in alkaline solutions. *CrystEngComm* 2013, 15, 43.
- Oparin, A. (1936). *El origen de la vida*. Editores Mexicanos Unidos .
- Opel J; Kellermeier Matthias; Morales Juan; Cölfen Helmut; García Ruiz Juan Manuel. Structural Transition of Inorganic Silica-Carbonate Composites Towards Curved Lifelike Morphologies. *Minerals* 2018, 8, 75.
- Soto, M. (06 de Marzo de 2017). *La nación*. Obtenido de <https://www.nacion.com/ciencia/aplicaciones-cientificas/nanocristales-dan-pista-sobre-origen-de-la-vida-en-la-tierra/ZICSPREM4VDWTAX4UY7NTCO4MI/story/>
- Thomas Baird, Paul S. Braterman, Peng Chen, Juan M. García-Rufz, Robert D. Peacock y Allen Reid, Departments of Chemistry, (a) University of Glasgow, Glasgow G12 8QQ, Scotland, UK, (b) University of North Texas, Denton, TX 76203-5068, USA, (c) Instituto Andaluz de Geología Mediterránea, CSIC-Universidad de Granada, Fuentanueva s/n., Granada 18002, España.
- Wetto, M. (s.f.). *Lifeder*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/teoria-quimiosintetica/>
- Yirda, A. (27 de Enero de 2021). *Concepto Definicion*. Obtenido de <https://conceptodefinicion.de/ph/>