

El papel fundamental de la temperatura en el origen químico de la vida: silico-carbonatos como modelo de estudio

Christian Sujham Silva-Rodríguez^{1,2}, Haydee Alejandra Pérez-Hernández², Mayra Cuéllar-Cruz^{3*}

¹Escuela de Nivel Medio Superior Centro Histórico León, Universidad de Guanajuato, León, Guanajuato, México.

²Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Guanajuato, México.

³Departamento de Biología, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Noria Alta 5/N, Col. Noria Alta, C.P. 36050, Guanajuato, Guanajuato, México. *Email: mcuellar@ugto.mx

Resumen

La Tierra como la conocemos hoy en día ha pasado por distintos episodios ambientales como son temperaturas extremas que incluyen desde calor intenso hasta glaciaciones. Desde la era precámbrica, las etapas de frío y calor han ocurrido en intervalos de varios millones de años. De esta manera, las edades de hielo han ocurrido a intervalos y se considera que el impacto sobre la biosfera fue grande, porque la vida estuvo a punto de desaparecer por completo del planeta. Durante esos periodos glaciales hubo una reasignación del carbono, con la subsecuente formación de carbonatos. Los cuales, han presentado actividad estromatolítica, esto es importante porque al igual que los microfósiles, los estromatolitos existen en todas las eras geológicas, incluso actualmente crecen en varios lugares del mundo. De esta manera, son considerados la evidencia de vida más antigua que se conoce en la Tierra, son evidencia de ciclos biogeoquímicos antiguos, son los primeros oxigenadores de la atmósfera, son paleoindicadores ambientales y son los primeros formadores de zonas arrecifales. Recientemente, se han sintetizado *in vitro* a diferentes temperaturas estructuras de silico-carbonatos denominadas biomorfos, ya que emulan morfologías de organismos primitivos como son los estromatolitos. El objetivo del presente trabajo fue revisar la posible implicación de estos silico-carbonatos sintetizados a diferentes temperaturas y su posible relación con los estromatolitos que se han conservado hasta nuestros días.

Palabras clave: Silico-carbonatos; Biomorfos; Era precámbrica; Estromatolitos

Introducción

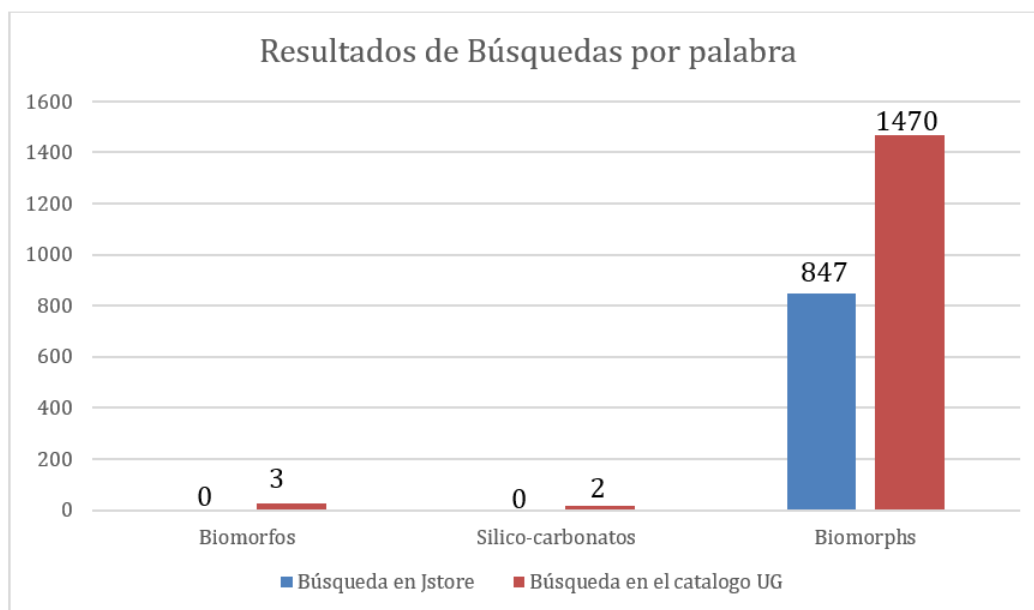
El planeta tierra alberga millones de seres vivos clasificados de diferentes maneras, contamos con una gran variedad de ecosistemas acuáticos y terrestres, pero ¿en qué momento comenzó esto? ¿desde cuándo existe esta vida en la tierra? El origen de la vida en la tierra ha sido una interrogante que el hombre se ha realizado desde tiempos inmemoriales, dando lugar a diversas teorías e hipótesis sobre cómo fue que aparecieron los primeros organismos vivientes en este planeta, es fascinante pensar que en algún punto la materia inorgánica comenzó a tener lo que llamamos vida, ¿Qué fue el parteaguas de este acontecimiento? Si bien el suceso que convirtió la materia inorgánica en vida continua siendo un tema sin resolver, restos fósiles encontrados de radiolarios, diatomeas y foraminíferos formados de silicato, siendo estos los restos fósiles más antiguos encontrados en nuestro planeta, nos ayudan a situar tentativamente el origen de la vida en la era precámbrica de la tierra (hace aproximadamente 3000 a 3500 millones de años atrás) y ayudándonos a conocer cuáles eran las estructuras con las que contaban estos organismos, dándonos la creencia de que los elementos básicos para la vida se encontraban en la atmosfera del ambiente precámbrico, es posible hacer la hipótesis de que la vida se originó con la combinación de estas condiciones.¹ La era precámbrica es considerada la primera era larga geológica de nuestro planeta, siendo de suma importancia para la historia geológica natural de la tierra.² Hablamos de condiciones muy diferentes a las que tenemos hoy en día, las temperaturas determinadas, luz de sol, una presión atmosférica diferente a la que tenemos en épocas contemporáneas, diferencias en el campo eléctrico de nuestro planeta y el pH existente en el precámbrico dieron origen a formar los primeros organismos celulares.³

A través de las distintas épocas de la historia de la Tierra han existido etapas de temperaturas extremas como son ciclos de temperaturas altas o bajas, pasando por cuatro periodos de glaciaciones. Se considera

que el impacto de las glaciaciones sobre la biosfera fue grande, porque la vida estuvo a punto de desaparecer por completo del planeta. Interesantemente, durante este periodo glacial, se ha reportado que hubo una reasignación del carbono entre los reservorios de intercambio como son la atmosfera, los clatratos de metano y el océano profundo, con la subsecuente formación de carbonatos. Los cuales, son importantes porque muchos de ellos se ha mostrado que presentan actividad estromatolítica. Los estromatolitos son estructuras estratificadas formadas por la acción de las cianobacterias, las cuales absorben grandes cantidades de CO_2 de la atmosfera que tras su síntesis quedan fijadas en forma de carbonatos, y al precipitar en el agua se forman los estromatolitos. Recientemente, han sido hallados estromatolitos que salieron a la luz tras el deshielo de una capa de nieve que los cubría. Este hallazgo es la evidencia de que aun durante la época glacial que sufrió la Tierra, la vida se conservó a través de esos microorganismos que fueron capaces de sobrevivir en esas condiciones ambientales. Además, la presencia de carbonatos como muestra de vida es importante, porque hasta nuestros días los carbonatos, como el carbonato de calcio (CaCO_3) es el componente principal de muchas estructuras presentes en organismos, que comprenden desde algas hasta vertebrados. Con la finalidad de entender el mecanismo de formación de estructuras de organismos primitivos formados por CaCO_3 y su relación con el origen químico de la vida, en el presente trabajo se revisó la posible relación entre las estructuras denominadas como biomorfos, ya que emulan morfologías de organismos, sintetizados a distintas temperaturas y los estromatolitos.

Metodología

Para realizar las investigaciones necesarias se realizó una búsqueda en JSTOR, la búsqueda se realizó por las palabras i) Biomorfos, ii) Silico-carbonatos y iii) Biomorphs; esta primera búsqueda de información no arrojó documentos que estuvieran relacionados con el presente trabajo de revisión. Por lo cual, se realizó una segunda búsqueda en el catálogo virtual de la Universidad de Guanajuato donde se obtuvieron 1470 resultados (Gráfico 1).



Grafica 1. Resultados de Búsqueda según las palabras utilizadas para referencia. Catálogo de la biblioteca institucional en comparación con el catálogo de Jstore.

En el catálogo digital del sistema bibliotecario de la Universidad de Guanajuato, obtuvimos un total de 1470 resultados de búsqueda, los cuales se dividían de manera general en las categorías de i) Academic Journal, ii) Sin información, iii) Periodical y iv) Presentation (Gráfico 2). De los cuales, seleccionamos 11 artículos en relación con la síntesis de biomorfos y el origen químico de la vida.

Clasificación de los resultados de búsqueda

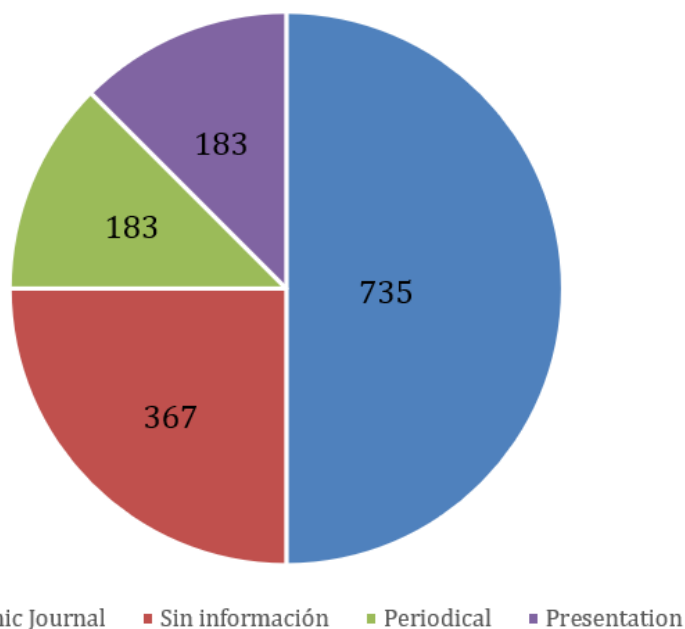


Gráfico 2. Clasificación de los resultados en el catálogo digital del sistema Bibliotecario Institucional.

Resultados

Biomorfos como modelo de estudio

Para tratar de entender el origen químico de la vida es indispensable contar con un modelo de estudio que haga reminiscencia a los primeros organismos presentes desde la era precámbrica. En este sentido, desde hace tres décadas se han descrito compuestos formados por silico-carbonatos de Ca (II), Ba (II) o Sr (II), los cuales forman estructuras cristalinas conocidas como biomorfos¹. Compuestos de importancia considerable, debido a que las formas que presentan los cristales ordenados emulan formas de organismos, hecho que resulta fascinante y podría ayudar a clarificar el origen químico de la vida en nuestro planeta debido a que están formados en su totalidad con elementos inorgánicos. Resulta interesante que estos presentan formas similares a la de los organismos vivos que en su mayoría son formas cardiodes (formas semejantes a los corazones redondeados), globulares (esféricas) y filamentos en hélice, que dependen de las condiciones en las que se sintetice el silico-biomorfo, causando que se presenten variantes en cuanto a la uniformidad y tamaño de la estructura; sin embargo, estas no miden más de 10 milímetros.

Las formas que desarrollan estos cristales formados los colocarían estructuralmente en el reino de la materia orgánica o viviente⁴; tomando en cuenta a los radiolarios, diatomeas y foraminíferos, podemos notar que cuentan con una estructura y forma muy similar a la que se forma en las cristalizaciones de estos silico-carbonatos³. Estructuras de calcio, estroncio y ciertas biomoléculas se conservan desde las células primitivas hasta organismos en la actualidad como las conchas de las almejas.⁵ De esta manera, los biomorfos podrían ser considerados un indicador de que la vida se originó gracias a uniones sílice-carbonato, que, debido a las condiciones cambiantes y la evolución del ambiente terrestre, serían reemplazadas por uniones calcio-carbono, como encontramos actualmente en los organismos contemporáneos.¹

Por otra parte, debemos considerar que las condiciones de la era precámbrica fueron muy diferentes a las que podemos encontrar hoy en día, por lo que es necesario realizar una simulación en los laboratorios sobre todos los aspectos importantes del ambiente precámbrico para saber si es posible la síntesis de biomorfos en dichas condiciones.³ Estos cristales se pueden crear en medios de gel o solución y esto no afecta su estructura, sin embargo es importante tener en cuenta los factores que si pueden afectar la estructura de los biomorfos⁴. Haciendo alusión a las condiciones de la tierra primitiva en que se originó la vida, los factores que tienen relación directa con los biomorfos y la creación de los primeros organismos vivos fueron: i) el pH, pues el gradiente del medio fue importante para la atracción de cationes y formación de biomoléculas.⁶ ii) La saturación y presión atmosférica ayudaron a conseguir las estructuras conocidas actualmente⁴. iii) Las altas concentraciones eléctricas existentes en el precámbrico que en combinación con las temperaturas, estas funcionaron como potenciadores para la formación de los primeros organismos vivos.³ (Fig. 1).

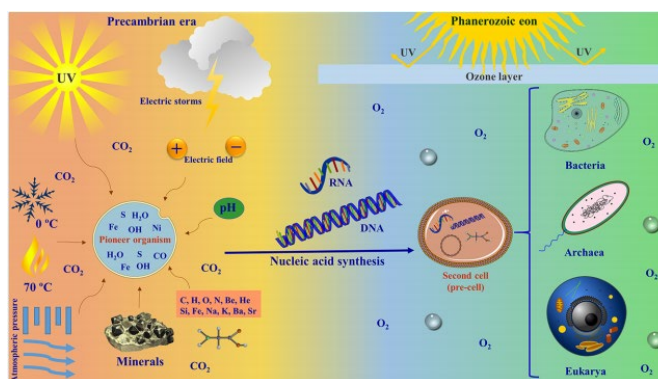


Figura 1. Relación existente entre el ambiente y la síntesis de los primeros organismos celulares. Tomada con permiso de Cuéllar-Cruz, M. Influence of Abiotic Factors in the Chemical Origin of Life: Biomorphs as a Study Model. ACS Omega 2021, 6 (13), 8754–8763. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00497>.

Otro factor preponderante en la síntesis de los biomorfos es la temperatura, ya que los organismos existentes en la era precámbrica pudieron originarse y sobrevivir a temperaturas de aproximadamente 90°C. Sin embargo, las condiciones atmosféricas en relación con la temperatura de la era precámbrica, hace que el periodo en el que origino la vida sea desconocido, existen árboles moleculares que sugiere la síntesis de arqueobacterias en temperaturas menores a 0°C⁷. Sin embargo, esto no presenta una problemática, pues se tiene el conocimiento de que a bajas temperaturas los biomorfos pueden ser sintetizados de manera exitosa y además el material genético y las macromoléculas pueden ser conservadas en estas temperaturas^{8,7}, cubriendo de esta manera las posibilidades en tanto a la variación de las condiciones precámbricas analizando tanto la síntesis de biomorfos en temperaturas elevadas tanto como temperaturas bajas.^{8,1}

Las características del RNA entorno a su resistencia a la temperatura y presión⁷, aunado a que la estabilidad de los polímeros y monómeros está fuertemente relacionada y limitada a la posibilidad de un lento origen de la vida⁹, sugiere que los compuestos orgánicos que formaron a los primeros organismos vivos se originaron en océanos prehistóricos similares a los océanos termales del mar profundo existentes hoy en día⁶, resulta interesante el poder elucidar la síntesis del RNA en el precámbrico.

En esta dirección, se ha propuesto la hipótesis de que algunos compuestos inorgánicos en conjunto con las condiciones ambientales presentes en la era precámbrica hicieron posible la síntesis de las primeras biomoléculas y posteriormente dieron origen a los primeros organismos celulares. Se ha reportado que posiblemente estos primeros organismos debieron ser autótrofos, para utilizar la alta concentración del CO₂ de la atmósfera precámbrica en el ciclo de Krebs.⁹ Además, estos primeros organismos debieron ser hipertermófilos, debido a los grandes cambios de temperatura que debieron enfrentar habitando en las aguas termales de los océanos primitivos para poder soportar las condiciones del mundo precámbrico.^{7,9} Siendo prueba de esta unión la posibilidad de generar biomorfos exitosos en aleación con biomoléculas como RNA y DNA, donde la temperatura solo afecta de manera estructural.^{1,8}

Relación entre los Biomorfos y la Temperatura

Con la finalidad de entender el ambiente precámbrico y su relación con la síntesis de los biomorfos, considerando que en la época precámbrica la temperatura era extrema y variaba de caliente a fría^{8,7}, en la síntesis de silico-biomorfos la temperatura es un aspecto importante a revisar.

Para tratar de explicar esta posible relación, se debe considerar que nos enfrentamos a tres posibilidades: i) el origen de la vida en la tierra precámbrica con una temperatura caliente; ii) con una temperatura fría; y iii) la comparación de la vida en nuestro tiempo a temperatura ambiente.^{1,8,7}

Tomando como punto de partida que los organismos hipertrófilos son considerados los precursores de la vida en la tierra, ya que son capaces de vivir a temperaturas de hasta 90°C, es importante comprender que la temperatura del precámbrico era de aproximadamente 50°C. Con la finalidad de evaluar si es posible la formación de biomorfos a temperaturas altas, se ha reportado la síntesis a temperaturas de 50 y 37 °C.^{1,4} En ese trabajo se encontró que los biomorfos se pueden sintetizar en presencia de ácidos nucleicos como lo fueron ADN genómico y plasmático al igual que ARN, obteniendo morfologías de cristales que asemejan organismos vivos, entre las cuales se observaron similitudes con flores de la especie *Campsis radicans* (Conocidas como trompeta trepadora)(Fig. 2A) y hojas de plantas parecidas a la especie *Ficus benjamina* (conocida como laurel de la india) (Fig. 2B), lo cual puede indicar que los primeros organismos del precámbrico formaron estructuras de cristales vitales que les permitieron sobrevivir.¹

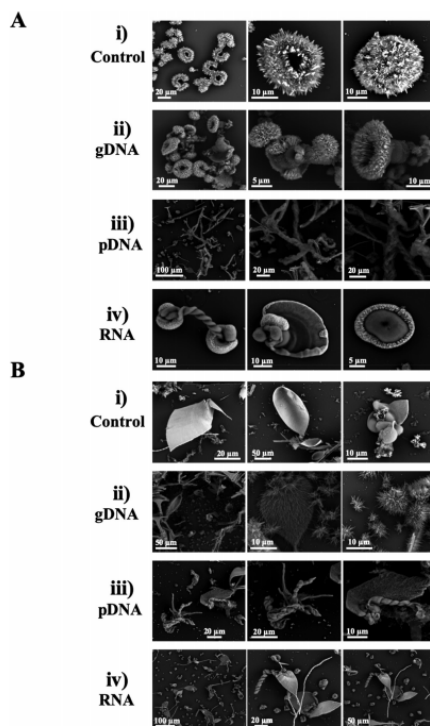


Figura 2. Micrografías tomadas por microscopía electrónica de barrido (MEB) de silico- carbonatos de bario sintetizados sin ácidos nucleicos i) control, y con ii) ADN genómico, iii) ADN plasmático y iv) ARN, a 37°C (A) y 50°C (B). Tomada con permiso de Cuéllar-Cruz, M.; Islas, S. R.; González, G.; Moreno, A. Influence of Nucleic Acids on the Synthesis of Crystalline Ca(II), Ba(II), and Sr(II) Silica-Carbonate Biomorphs: Implications for the Chemical Origin of Life on Primitive Earth. *Cryst. Growth Des.* 2019, 19 (8), 4667–4682. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b00573>.

En contraste con la síntesis de biomorfos a temperaturas altas, también se ha reportado la síntesis de biomorfos a bajas temperaturas, esto con la finalidad de evaluar si la vida es posible a temperaturas extremas bajas, como lo fue durante las eras glaciares que ha pasado nuestro planeta. Se ha reportado que

a temperaturas de 25 °C, 4 °C, -20 °C y -70 °C, se encontró que los biomorfos sintetizados adoptan morfologías de curvas irregulares que corresponderían a organismos vivos, tales como formas cardiales, espirales, gusanos entre otras (Fig. 3)⁸. Estos resultados sugieren que los primeros organismos pudieron soportar bajas temperaturas durante las glaciaciones que sufrió la Tierra en épocas tempranas. Dato que está acorde con el hallazgo de microorganismos en el ártico que preservan los ácidos nucleicos, los cuales toleran temperaturas de -50 °C o más, asegurando la permanencia de las biomoléculas como son los ácidos nucleicos.⁸

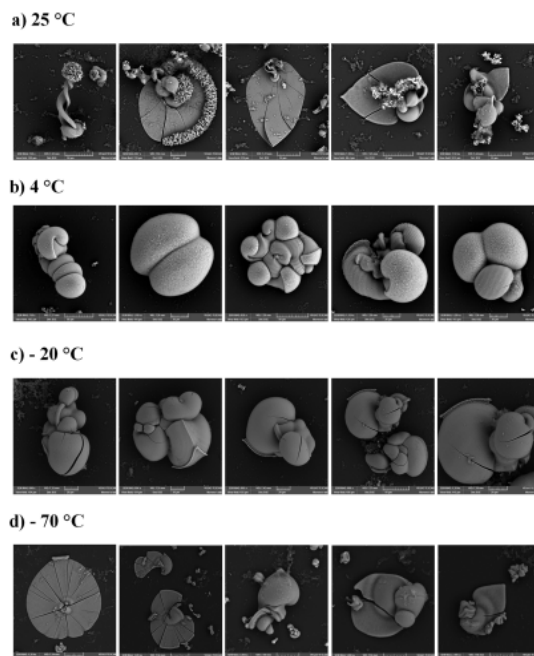


Figura 3. Micrografías por Microscopía electrónica de barrido (MEB) de silico-carbonatos de bario sintetizados a temperaturas de: a) 25°C, b) 4°C, c) -20°C y d) -70°C. Tomada con permiso de Cuéllar-Cruz, M.; Schneider, D. K.; Stojanoff, V.; Islas, S. R.; Sánchez-Puig, N.; Arreguín-Espinosa, R.; Delgado, J. M.; Moreno, A. Formation of Crystalline Silica-Carbonate Biomorphs of Alkaline Earth Metals (Ca, Ba, Sr) from Ambient to Low Temperatures: Chemical Implications during the Primitive Earth's Life. *Cryst. Growth Des.* 2020, 20 (2), 1186–1195. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b01473>.

Tomando en cuenta las condiciones de la era moderna donde las temperaturas son de aproximadamente 37-°C, es de importancia el hecho de una síntesis de biomorfos exitosa, pues es la temperatura a la que proliferan los microorganismos actuales, esto concordaría con la teoría de la combinación de compuestos formados por sílice con biomoléculas para formar los mesófilos.¹⁷ En esta vía, en ese trabajo fue exitosa una síntesis de biomorfos en conjunto con ácidos nucleicos a temperatura ambiente (Fig. 2A).

Conclusiones

Los silico-carbonatos pueden ser un punto de enlace entre la era Precámbrica hasta nuestros días, debido a que en la era Precámbrica ya existían biomoléculas que posiblemente dirigieron la formación de estructuras únicas, definidas y reproducibles, que se han 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. Christian Sujham Silva Rodríguez y Haydee Alejandra Pérez Hernández agradecen la beca otorgada al Programa del XXVI Verano de la Ciencia 2021.

Bibliografía

- (1) Cuéllar-Cruz, M.; Islas, S. R.; González, G.; Moreno, A. Influence of Nucleic Acids on the Synthesis of Crystalline Ca(II), Ba(II), and Sr(II) Silica-Carbonate Biomorphs: Implications for the Chemical Origin of Life on Primitive Earth. *Cryst. Growth Des.* **2019**, *19*(8), 4667–4682. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b00573>.
- (2) Cuéllar-Cruz, M.; Moreno, A. Synthesis of Crystalline Silica-Carbonate Biomorphs of Ba(II) under the Presence of RNA and Positively and Negatively Charged ITO Electrodes: Obtainment of Graphite via Bioreduction of CO₂ and Its Implications to the Chemical Origin of Life on Primitive E. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2020**, No. ii. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00068>.
- (3) Cuéllar-Cruz, M. Influence of Abiotic Factors in the Chemical Origin of Life: Biomorphs as a Study Model. *ACS Omega* **2021**, *6*(13), 8754–8763. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00497>.
- (4) Bittarello, E.; Aquilano, D. Self-Assembled Nanocrystals of Barium Carbonate in Biomineral-like Structures. *Eur. J. Mineral.* **2007**, *19*(3), 345–351. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2007/0019-1730>.
- (5) Cuéllar-Cruz, M.; Moreno, A. The Role of Calcium and Strontium as the Most Dominant Elements during Combinations of Different Alkaline Earth Metals in the Synthesis of Crystalline Silica-Carbonate Biomorphs. *Crystals* **2019**, *9*(8), 1–19. <https://doi.org/10.3390/cryst9080381>.
- (6) Krissansen-Totton, J.; Arney, G. N.; Catling, D. C. Constraining the Climate and Ocean PH of the Early Earth with a Geological Carbon Cycle Model. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2018**, *115*(16), 4105–4110. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721296115>.
- (7) Miller, S. L.; Lazcano, A. The Origin of Life—Did It Occur at High Temperatures? *J. Mol. Evol.* **1995**, *41*(6), 689–692. <https://doi.org/10.1007/BF00173146>.
- (8) Cuéllar-Cruz, M.; Schneider, D. K.; Stojanoff, V.; Islas, S. R.; Sánchez-Puig, N.; Arreguín-Espinosa, R.; Delgado, J. M.; Moreno, A. Formation of Crystalline Silica-Carbonate Biomorphs of Alkaline Earth Metals (Ca, Ba, Sr) from Ambient to Low Temperatures: Chemical Implications during the Primitive Earth's Life. *Cryst. Growth Des.* **2020**, *20*(2), 1186–1195. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b01473>.
- (9) Lazcano, A.; Miller, S. L. The Origin and Early Evolution of Life: Prebiotic Chemistry, the Pre-RNA World, and Time. *Cell* **1996**, *85*(6), 793–798. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(00\)81263-5](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)81263-5).