



CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA: EL MISTERIO DEL LUGAR MÁS DIVERSO DEL PLANETA

VALERIA SOUZA SALDÍVAR*, SUSANA DE LA
TORRE-ZAVALA**, NAHUI OLIN MEDINA-
CHÁVEZ**

El valle de Cuatro Ciénegas (CC), en Coahuila, es un oasis biológicamente extraordinario que en la actualidad se encuentra en peligro de desaparecer. En este momento sabemos que CC representa una “máquina del tiempo” hiperdiversa en la que sus comunidades microbianas forman tapetes microbianos, estromatolitos ricos en linajes endémicos que se separaron de sus parientes marinos hace mucho tiempo, pero que siguen siendo funcionalmente similares a las comunidades que habitaron los mares del pasado remoto (Moreno-Letelier *et al*, 2012; Souza

et al, 2006; 2018; 2012). También sabemos, por estudios de reloj molecular, que muchos de estos linajes se han diversificado sólo en Cuatro Ciénegas desde hace cientos de millones de años (Souza *et al*, 2018). Es fascinante que esta afiliación marina y enorme diversidad se detecte también en las comunidades de virus (Desnues *et al*, 2008; Taboada *et al*, 2018), las cuales son una imagen en espejo de la muy amplia diversidad y heterogeneidad entre sitios de presas potenciales.

*Universidad Nacional Autónoma de México.

**Universidad Autónoma de Nuevo León.

Contacto: souza@unam.mx

En parte, para entender al mundo perdido tenemos que entender el origen del agua en este oasis. El agua en CC no solamente viene de la recarga por lluvias en las sierras que rodean al valle, una parte importante viene de un manto freático profundo, donde una bolsa magmática ocasiona que el agua de sus manantiales sea rica en azufre y pobre en oxígeno (Wolaver *et al.*, 2012).



Figura 1. Vista aérea de las Pozas de Cuatro Ciénegas (imagen: Miguel Ángel de la Cueva).

Por otra parte, creemos que este manto freático profundo, además de formar el humedal, lo enriquece biológicamente, ya que contiene la microbiota profunda, misma que funciona no sólo como comunidad fundadora al abrirse una poza, también como *seed bank*, un banco de especies y funciones que hacen de éste un sistema resiliente y dinámico. La mayor parte de esta microbiota de las profundidades está conformada por lo que se conoce como “biósfera rara” (microorganismos poco abundantes). En el caso de CC la biósfera rara es muy diversa y forma la mayor parte de todos los metagenomas de CC que hemos analizado (Peimbert *et al.*, 2012; Bonilla-Rosso *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2017; De Anda *et al.*, 2017; 2018), no sólo haciendo a cada sitio único, sino que es parte central de las interacciones poblacionales y de los ciclos biogeoquímicos de CC.

Es muy posible que la enorme biodiversidad del oasis de CC se deba, de manera aparentemente paradójica, a la falta de nutrientes, ya que el sistema ultraligotrófico que caracteriza a este oasis, lo aísla efectivamente de los organismos adaptados a ambientes ricos en fósforo (P), como la mayoría de los organismos actuales (Elser *et al.*, 2005; Tapia-Torres *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2018). Al mismo tiempo que la oligotrofia aísla a CC de organismos migrantes potenciales de otras comunidades fuera del valle, también la aíslan de las comunidades vecinas, existiendo un fuerte antagonismo, mediado por antibióticos, contra todos los organismos que no son locales (Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2012; Aguirre-Von Wobeser, 2013; 2015; Ponce-Soto *et al.*, 2015; Arocha *et al.*, 2017). Así, las comunidades locales de CC parecen haber coevolucionado identificando a los que cooperan y evitando “a los tramposos”, que pudieran usar los bienes comunes sin aportar su parte.

Apoyando esta idea de comunidad cohesiva, hemos encontrado que las comunidades bacterianas locales de CC tienen fuertes dependencias nutricionales, por lo que no pueden crecer solas (Alcaraz *et al.*, 2008; Rodríguez-Torrez *et al.*, 2017), sugiriendo un proceso coevolutivo recientemente bautizado como “Reina Negra” (Morris *et al.*, 2012), donde en condiciones limitantes, cada especie se especializa en hacer algo, reducen su genoma y funciones potenciales, lo que les permite crecer mejor dentro de la comunidad, pero a costa de no poder invadir otros ambientes. Esta adaptación local extrema se traduce en una fuerte diferenciación geográfica, e incrementa la llamada diversidad beta (Bonilla-Rosso *et al.*, 2012; Espinosa-Asuar *et al.*, 2015).

Sin embargo, al irse reduciendo los niveles de agua en el humedal de CC, en particular en el sistema del Churince, donde el agua superficial ya se perdió (Souza *et al.*, 2018), no sólo encontramos que el ciclo del azufre se perturba al bajar el nivel del agua (De Anda *et al.*, 2018) también cambian las relaciones entre los miembros microbianos de las comunidades. Así, existen más antagonismos en las comunidades con menos humedad que en las más húmedas (De Anda *et al.*, 2018).



Figura 2. Pozas Azules con estromatolitos vivos en el Rancho de Pronatura, en Cuatro Ciénegas, Coahuila (imagen: Miguel Ángel de la Cueva).

En marzo de 2016 descubrimos en CC, en el rancho de Pronatura Pozas Azules, unos tapetes microbianos que forman estructuras que recuerdan domos y que son elásticas, claramente visibles sólo cuando llueve y hay agua superficial en la muy somera poza donde se encuentran. Estos “domos” son una especie de burbuja formada por un complejo tapete microbiano, donde en su capa más externa se encuentran arqueas halófilas y bacterias fotosintéticas, tanto oxigénicas como dependientes del azufre, y en su interior dominan arqueas metanógenas y bacterias del azufre, aparentemente recreando las condiciones anóxicas dominadas por metano y volátiles del azufre de la atmósfera en la Era del Arqueano, hace más de 2500 millones de años.



Figura 3. Dra. Valeria Souza en el sitio de estudio “Domos del Arqueano”, situado en el Rancho de Pronatura, en Cuatro Ciénegas, Coahuila (imagen: David Jaramillo).

Si en el Churince, cuando no hay agua parecen dominar las relaciones antagónicas, ¿qué ocurre en un sitio donde las perturbaciones son “normales” y sus tapetes microbianos parecen tener cualidades muy particulares?, ¿por qué en CC sobrevivieron estos linajes tan antiguos?, ¿es realmente CC una singularidad com-

parado con otras comunidades microbianas de nuestro planeta?, ¿cómo funcionan estos tapetes microbianos en los domos de Pozas Azules, su estructura y función responden a la presencia de agua?, ¿qué interacciones poblacionales y procesos químicos dominan en estos domos y como cambian en el tiempo?



Figura 4. El “Churince”, en Cuatro Ciénegas, Coahuila (imagen: Miguel Ángel de la Cueva).

Datos nuevos aún no publicados (Medina-Chávez *et al.*, sometido; Espinosa-Asuar, sometido) de una poza particular que denominamos “Domos del Arqueano” nos indican que esta biósfera rara en época de lluvias, cuando la poza está húmeda, hace de este sitio el más diverso del mundo tanto para Arqueas (datos metagenómicos) como para Bacteria. Utilizando NExtGen con tags de 16S a muy alta cobertura, encontramos que diez muestras de tapete microbiano (una cada 10 cm) en un transecto de 1.5 m, hay más de 700,000 diferentes OTU (Unidad Operativa Taxonómica al 97% de identidad), siendo que cada sitio es único, aún a una escala de cm; por otra parte, cuando la poza está húmeda por medio de metagenómica, se detectó que los virus aumentan de manera notable llegando a confor-

mar 28% de los *reads* (Medina-Chávez *et al.*, sometido). Sin lugar a dudas esto es extraordinario y totalmente inesperado, y estamos tratando de entender el porqué y el cómo pueden coexistir tantas especies, sobre todo poco abundantes, en un sitio fluctuante y poliextremófilo (hipersalino, alcalino y oligotrófico).

Nuestra hipótesis es que existe una retroalimentación ecoevolutiva, donde las interacciones determinan al ambiente y éste, como resultado, cambia constantemente forzando a la comunidad a adaptarse a las nuevas interacciones fomentadas por la dinámica de los virus y de la biosfera rara, misma que produce una gran cantidad de metabolitos y cuya firma química también es única en cada sitio (Buenrostro, 2020).

REFERENCIAS

- Desnues, C., Rodríguez-Brito, B., Rayhawk, S., *et al.* (2008). Biodiversity and biogeography of phages in modern stromatolites and thrombolites. *Nature*. 452:340-343. 10.1038/nature06735
- Moreno-Letelier, A., Olmedo-Álvarez, G., Eguiarte, L.E., *et al.* (2012). Divergence and phylogeny of Firmicutes from the Cuatro Ciénegas Basin, México: a window to an ancient ocean. *Astrobiology*. 12:674-684. 10.1089/ast.2011.0685
- Souza, V., Espinosa-Asuar, L., Escalante, A.E., *et al.* (2006). An endangered oasis of aquatic microbial biodiversity in the Chihuahuan desert. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 103:6565-6570. 10.1073/pnas.0601434103
- Souza, V., Moreno-Letelier, A., Travi-sano, M., *et al.* (2018). The lost world of Cuatro Ciénegas Basin, a relictual bacterial niche in a desert oasis. *Elife*. 7. 10.7554/eLife.38278
- Souza, V., Siefert, J.L., Escalante, A.E. *et al.* (2012). The Cuatro Ciénegas Basin in Coahuila, México: an astrobiological Precambrian Park. *Astrobiology*. 12:641-647. 10.1089/ast.2011.0675
- Taboada, B., Isa, P., Gutiérrez-Escolano, A.L., *et al.* (2018). The Geographic Structure of Viruses in the Cuatro Ciénegas Basin, a Unique Oasis in Northern México, Reveals a Highly Diverse Population on a Small Geographic Scale. *Appl Environ Microbiol*. 84. 10.1128/AEM.00465-18
- Wolaver, B.D., Crossey, L.J., Karlstrom, K.E., *et al.* (2012). Identifying origins of and pathways for spring waters in a semiarid basin using He, Sr, and C isotopes: Cuatrociénegas Basin, México. *Geosphere*. 9:113-125.