



Foto: Humberto Bahena.



Ts'ono'ot, mensajero de agua y vida

Mariel Barjau-Aguilar, Rocío J. Alcántara-Hernández, Martín Merino-Ibarra y Emiliano Monroy-Ríos

Resumen: Un *ts'ono'ot* o cenote nos cuenta que nació del mar, que está hecho de roca caliza y que se conecta con otros igual que él para conformar uno de los acuíferos más grandes del mundo. Nos habla de su cuerpo profundo y cilíndrico en el que conviven agua dulce y salada, y de que sostiene redes de vida que van de los microorganismos a los seres humanos. Su relato nos lleva a comprender su naturaleza misteriosa y frágil, nos muestra cómo su existencia significa vida y necesita de la protección humana ¡Vamos a escucharlo!

Palabras clave: Cenotes, limnología, acuífero kárstico, microbiología ambiental.



Maayat'aan (maya): Ts'ono'ot, aj bisaj t'aanil ja' yéetel kuxtal

Kóom ts'íbil meyaj: Jump'éel ts'ono'ote' ku tsikbatik to'on siij ti' k'ák'náab, meeta'an yéetel ts'u'uy saskab bey xan tsaylantsay yanik yéetel uláak'oob utí'al u múuch' beetiko'ob jump'éel u kúuchil ja' yaan tu táamil lu'um jach nojoch way yóok'ol kaabe'. Ku ya'lik u wiinkile' wóolis táam tu'ux ku műul yantal ch'ujuk ja' yéetel ch'ooch' ja', yéetel te' ku yáanta'al u kuxtal mejen ik'elo'ob bey xan wíiniko'ob. U tsikbale' ku bisiko'on k na'at ba'ax ma' jach k'aj óola'an yo'olali' yéetel u k'a'ana'anil u kanáanta'al, u yantale' u k'áat u ya'al kuxtal yéetel jach k'a'ana'an u kanáanta'al tumen wíiniko'on. ¡Ko'one'ex u'uyik!

Áantaj t'aano'ob: Ts'ono'oto'ob, limnología, acuífero kárstico, microbiología ambiental.

Bats'i k'op (tsotsil): Snabil ch'en, j-al mantal yu'un vo' xchi'uk kuxlejalil

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: Jun snabil ch'en ja' ta xchol ka'aytik ti stuke ja' te volk'em ayinem talel ta muk'ta nab, joybil ta tsatsal tonetik xchi'uk ti jech ta snit stsak sba xchi'uk yantik yo' jech spas yu'unik ta jun muk'ta yavil xch'enal vo' ta sbejel banamil. Ta xalbutik ta snatil sts'anlebal ya'lel xchi'uk ti ja' te ta skap sba xchi'uk uch'bolal vo' xchi'uk ch'i'pik'anil vo', ti ja' jech te kuxul chamalik o ti jch'iel jk'opojeletik xchi'uk bik'tal ch'uch'ulil chonetike. Ti ya'yeje ja' te ta xak' jna'tik ti k'u x-elan sk'unil stsatsal skuxlejale, ta xak' kiltik ti skuxlejal stuke ja' jkuxlejaltik xchi'uk ti ta sk'an ta jk'el jchabitike ¡Ka'aybetik ti ya'yeje!

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: Snabil ch'en, xchanel pamlebal vo'etik, xchanel bik'tal ch'uch'ulil chonetik.

Origen, vida y colores

T'sono'ot o d'zonot me llamaban los antiguos mayas, quienes sabían que en mis aguas se guarda vida y secretos.

Hoy me conocen como "cenote", y a través de túneles me conecto con otros que son igual que yo. Juntos formamos el acuífero *Sac Aktun* ("cueva blanca"), uno de los más grandes del mundo. Cada gota de agua que contengo viaja de mi interior a la superficie para nutrir a la selva y a los animales, así como a las poblaciones humanas que dependen de mí para sobrevivir.

Soy un cenote del oriente de la península de Yucatán que nació en el mar, donde hace mucho tiempo millones de esqueletos de organismos marinos se convirtieron en capas de roca caliza. Allí mi cuerpo duro, poroso y blanco cobró forma por la karstificación, el proceso que ocurre cuando el suelo pétreo y calizo se disuelve poco a poco debido al agua infiltrada de la lluvia y el desgaste natural. Durante las eras glaciales, el nivel del mar subió y bajó varias veces hasta dejarme al descubierto. El techo que me cubría colapsó, y fue así que surgió el pozo de agua cilíndrico de 75 metros de profundidad que soy ahora.

Mis entrañas están formadas por una mezcla de aguas: la del mar Caribe y la que proviene de la lluvia, acumulándose durante miles de años. Estas capas de agua coexisten a aproximadamente 30 metros de profundidad, pero no se mezclan porque sus densidades son diferentes. Es por esto que los limnólogos (científicos que estudian los sistemas acuáticos de los continentes) me llaman "cenote anquihalino", un término útil para indicar que en mis profundidades reposa agua salada y sobre ella flota una capa de agua dulce, ambas casi independientes.

Soy parecido a muchos de mis hermanos, pero me distingo porque mi superficie se encuentra totalmente descubierta.



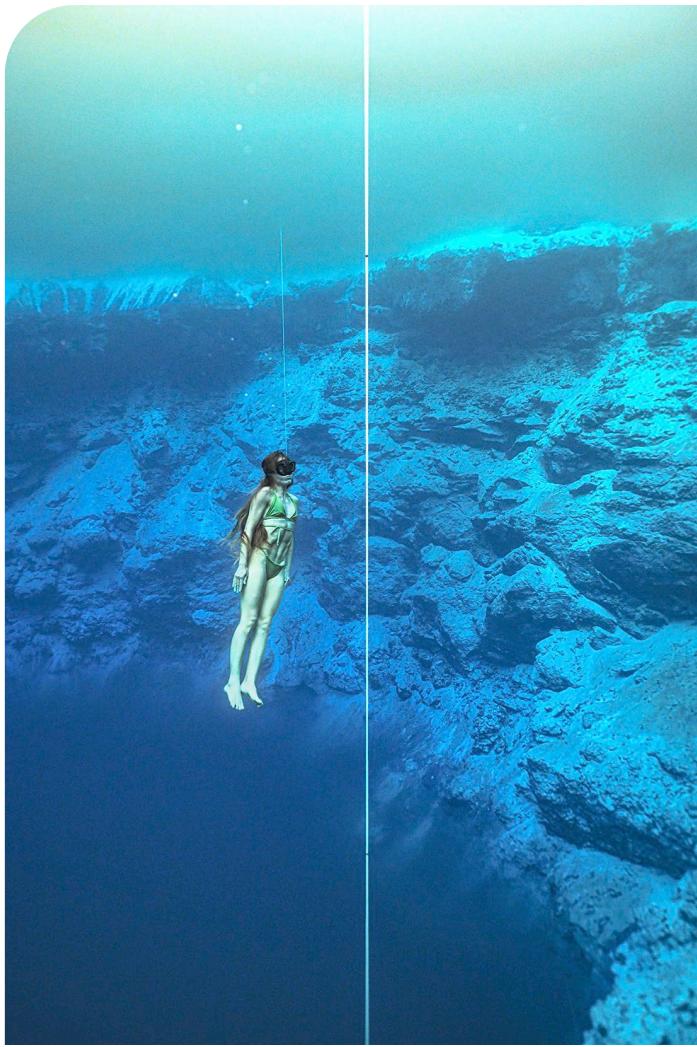
Cenote Azul, Bacalar, Quintana Roo, México. Foto: Carmen Rosas.

Esto hace que la luz del sol me alcance de manera directa, brindándome la energía que activa la vida dentro de mí a través de la fotosíntesis. Gracias a dicho proceso, el dióxido de carbono (CO₂) del aire y los nutrientes disueltos en mi agua se transforman en materia orgánica, que sirve de alimento a los heterótrofos, organismos que dependen de ella para obtener energía y carbono.

La fotosíntesis sostiene a la red trófica que me habita, desde las microscópicas bacterias heterótrofas, el zooplancton, peces y moluscos, hasta reptiles como iguanas, cocodrilos Morelet o víboras pasa-ríos (especie local de serpientes de agua). También alimento a las aves que llegan con frecuencia: garza blanca, garza morena, pato golondrino y chachalaca, entre otras.

Debo contarles que cuando las algas microscópicas y las bacterias fotosintéticas crecen, enturbian mis aguas y pintan mi superficie de tonos verde-azulado que atraen las miradas curiosas de las personas. A mi alrededor hay bosques de manglar que me protegen y que en época de lluvias liberan taninos





Apneísta ascendiendo por la línea tras haber cruzado la “nube”. La foto fue tomada a una profundidad de 23-25 m. Apneísta: Luciana Loza. Foto: Guillermo Villarreal Casanova.

(moléculas orgánicas complejas), tiñéndome de café o de rojos intensos y llamativos.

Aventuras de los acuanautas

Pocos seres terrestres exploran más allá de mi superficie, aunque a veces lo hace algún ave, reptil o turista. Sin embargo, últimamente hay humanos muy curiosos que me visitan, los llamo “acuanautas”. Algunos llegan cargando en su espalda tanques de aire, y al nadarme van dejando una estela de burbujas. Otros, los apneístas, siempre vienen en pareja con solo un equipo de aletas muy largas y visores, ¡sin ningún tanque! Para no perderse en mis profundidades utilizan como guía una línea blanca que tensan con una boya en la superficie y un

peso en el fondo. Para premiar su valor, yo los sorprendo con vistas increíbles a lo largo de su travesía.

En los primeros metros de mi profundidad recibo a los acuanautas con agua dulce, cálida, turbia y verdosa, que está así por la alta concentración de microorganismos fotosintéticos. Todo cambia después de los 8 o 10 m. Mi agua se vuelve fría, cristalina y azulada, porque la luz solar disminuye con la profundidad. La poca luz que llega es absorbida y dispersada por los organismos fotosintéticos, y además, mis aguas actúan como un filtro, captando selectivamente la luz violeta y azul. A quienes se han atrevido a descender a estas profundidades les ofrezco paisajes que parecen de otro planeta: les muestro mi cuerpo calcáreo y milenario que es casi un cilindro perfecto de grandes paredes y acantilados blanco-amarillentos. Cuando las personas se asoman desde ellos y ven mi abismo quedan perplejas.

Algunos acuanautas deciden seguir descendiendo, y al llegar a los 27-30 metros, creen haber alcanzado el fondo blanco. Pero pronto se dan cuenta de que no es el fondo, sino una misteriosa “nube” que flota en mis profundidades. Los limnólogos saben que esta capa de transición, donde el agua cambia de densidad, puede deberse tanto a la temperatura como a la salinidad; cuando el cambio es principalmente de temperatura, la llaman picnoclina, y cuando es de salinidad, haloclina. Para ellos es un fenómeno técnico, pero para quien me visita, es una barrera líquida que divide los espacios de forma sorprendente

En este velo o interfase que separa mis aguas, la materia orgánica que cae de la superficie queda suspendida (hojas, ramas y pequeños seres vivos). Entonces, los microorganismos que habitan esa nube la reciclan, transformando nutrientes y liberando gases que afectan incluso al clima. Para los acuanautas, atravesar esta capa es como cruzar un umbral entre mundos: de repente la luz disminuye, y los colores se emblanquecen dando una sensación de misterio y vida suspendida que los envuelve por completo.

Este atractivo efecto visual de nube blanquecina y densa es resultado de complejas transformaciones químicas, geológicas y biológicas, principalmente del ciclo del azufre y de mi origen en rocas calizas. A pesar de que algunas de ellas producen olor a huevo podrido, los acuanautas casi siempre lo disfrutan, pues les da la impresión de estar en un espacio misterioso.

Pero luego, en un parpadeo, al cruzar el velo llegan a una oscuridad total. Esto se debe a que la nube blanca refleja la luz, de modo que al atravesarla, el paisaje se oscurece por completo. También cambia la salinidad, pues el agua en ese nivel proviene del mar Caribe, que es de 1 a 1.5 °C más cálida que el agua

1 Los apneístas son buzos que se sumergen sin tanque de aire. Su meta es descender lo más profundo posible, y suelen proteger la nariz con un clip especial mientras equilibran la presión de oídos y senos paranasales.



dulce porque recibe directamente la energía del sol y apenas ha viajado una decena de kilómetros; en cambio, la columna de agua dulce casi no recibe energía solar. La transición a una calidez oscura es desconcertante, tanto que algunos acuanautas se asustan y otros se envalentonan, aunque sin duda alguna todos se maravillan.

Así, después de cruzar la nube, tengo 45 m de oscuridad y conexión con el agua de mar. Allí abajo, en esta inmersión hacia mis entrañas, sin importar cuán profunda sea, los acuanautas se vuelven parte de mí por un breve instante. Logran una poderosa conexión conmigo, con el mar y con todos los cenotes, en un recorrido que transforma su perspectiva. Les muestro su vulnerabilidad y la fuerte conexión que guardamos con todos los seres vivos. Aunque la inmersión sea brevíssima, mi poder está en que el recuerdo y aprendizaje permanecerá en su memoria, con la esperanza de que día a día, ese instante los inspire a hacer pequeños cambios para conservarme, sin importar el tiempo ni la distancia, pues el agua nos conecta.

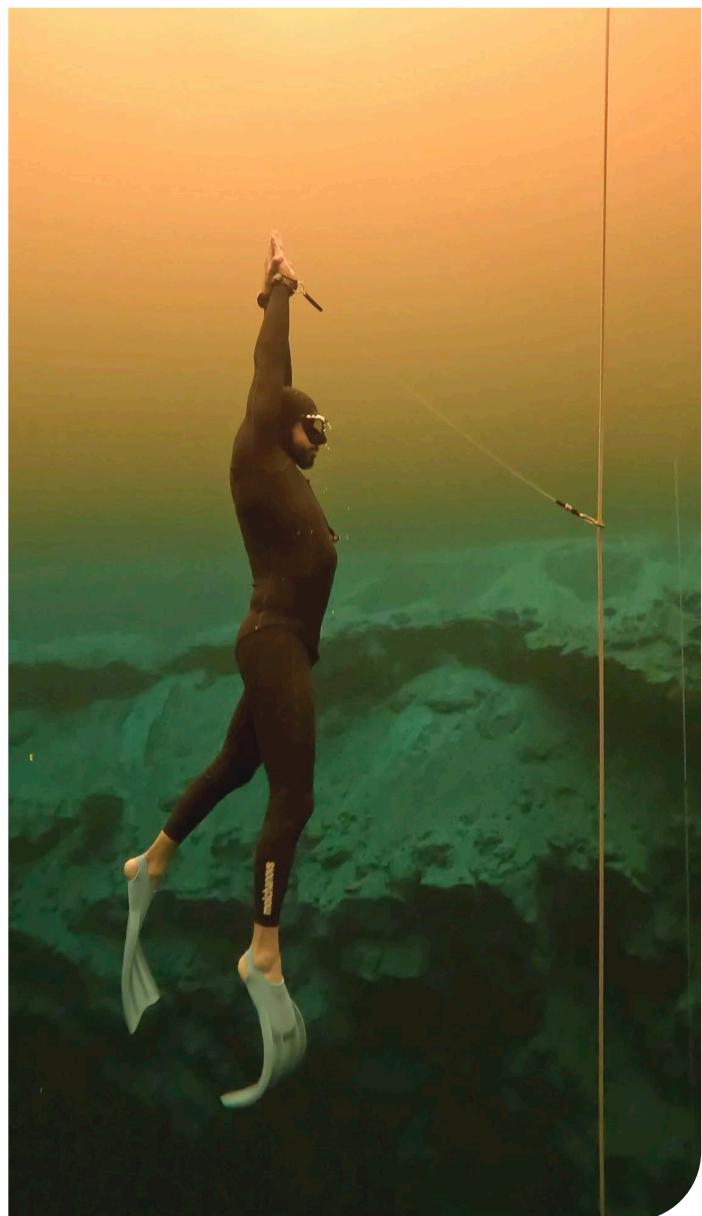
Conexión y conservación

He querido compartir un mensaje con los humanos que habitan sobre nosotros, pero hablamos lenguajes diferentes. Yo me comunico con el cambio en mis colores y mi turbidez, con el que se da entre los microorganismos que viven en mí, pero las personas no terminan de descifrar mi mensaje. Aun así, hay acuanautas observadores y curiosos que, junto a los limnólogos, han comenzado a aprender mi idioma con sus observaciones e instrumentos midiendo los parámetros de temperatura, pH, acidez, alcalinidad, turbidez, oxígeno disuelto, nitrógeno y fósforo, e incluso el material genético de los microorganismos de los que soy su residencia. He permitido que lleven mi agua a laboratorios para estudiarla, pues reconocen mi importancia, empiezan a comprender mis misterios, quieren protegerme para poder disfrutarme por generaciones y con ello garantizar el futuro de los ecosistemas que dependen de mí.

Los cenotes somos finitos y frágiles. Como parte del planeta, estamos interrelacionados con todos los seres vivos, al igual que los humanos. La acción de estos nos afecta, así como nuestros cambios los afectan a ellos. Tal vez no tienen la intención de dañarnos, pero algunas de sus actividades repercuten en nuestra salud y belleza, y alteran los procesos naturales que nos mantienen en equilibrio. Por ejemplo, las aguas residuales y el exceso de nutrientes inorgánicos de la agricultura han hecho que nuestra agua deje de ser azul y cristalina para volverse verde y turbia. Los ciclos que sostienen la vida que albergamos se han alterado, y los productos químicos como fármacos y cosméticos nos contaminan. No sabemos todavía cómo se perjudicará nuestra salud o la de quienes nos usan como fuente de agua potable. Hoy, las personas dedicadas a

la ciencia con el apoyo de los acuanautas y la sociedad, han comenzado a actuar, comparten nuestra importancia y proponen medidas básicas de conservación para nuestros guardianes y visitantes.

Los cenotes somos y seguiremos siendo vida. Y aunque somos resilientes, tenemos un límite y necesitamos con urgencia que nos comprendan y nos protejan. Solo así podremos conservar nuestros paisajes misteriosos, únicos, y garantizar el suministro de agua para los habitantes de la península de Yucatán. Recuerden: existen equilibrios delicados entre los seres vivos



Apneísta en un paisaje marciano ascendiendo por la línea. La foto fue tomada entre 8-10 m de profundidad durante la época de lluvias de 2023. La capa superficial se tornó roja por la liberación de taninos del manglar. Apneísta: Andrej Coria. Foto: Mariel Barjau Aguilar.





Foto: Humberto Bahena.

—en especial los humanos—, el mar Caribe, los manglares y el acuífero kárstico.

Contarles esta historia me recuerda que estamos estrechamente vinculados y que buscamos crear conciencia de que estos lazos van más allá de lo que podemos entender. Yo, *ts'ono'ot*, me conmuevo al apreciar la fuerza y la fragilidad que se conjuntan en mis aguas, sabiendo que somos una cualidad inherente a la península de Yucatán. Aprendamos y actuemos en conjunto para que mis paisajes y secretos perduren, y que agua y vida estén siempre en sintonía.

Agradecimientos

Al Dr. Eduardo Javier Aguilar Rangel y la Dra. Patricia Margarita Valdespino-Castillo, así como a Marina Aguilar Ramírez y María Esperanza Borrell por su valiosa contribución a la revisión del manuscrito. A Eduardo Escalante por compartirnos sus anécdotas subacuáticas inspiradoras. A la comunidad de apneístas del Caribe, en especial al fotógrafo Guillermo Villarreal, Matías Ferré y a la apneísta Luciana Loza. Al proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT IN224224. A la SECIHTI por el apoyo del programa de investigadores posdoctorales por México de la Dra. Barjau (CVU: 747276).

Mariel Barjau-Aguilar es investigadora del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad de México, México) | abmariel@geologia.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0001-5497-1249>

Rocío J. Alcántara-Hernández es investigadora del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad de México, México) | ralcantarah@geologia.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0002-6626-715X>

Martín Merino-Ibarra es investigador del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad de México, México) | mmerino@cmarl.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0002-6690-3101>

Emiliano Monroy-Ríos es consultor ambiental en peligros geológicos asociados al karst. Hidrogeología y Geoquímica del Karst | emiliano.monroy.rios@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0002-1959-7551>

