

Tarjeta de reporte de cenotes urbanos de Cozumel

Tarjeta de reporte de cenotes urbanos de Cozumel

D.A.R. 2023. *Tarjeta de reporte de cenotes urbanos de Cozumel*.
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY).

Participantes:

CICY

Gilberto Acosta González
Jesús Alvarado Flores
Claudia Paola Ávalos Echeagaray
José Epigmenio Bautista García
José Adán Caballero Vázquez
Eduardo Cejudo Espinosa
Fanny De Gante Ayora
Cecilia Hernández Zepeda
Rosa María Leal Bautista
Itzel Jocelín Mendoza Olea
Daniela Ortega Camacho
Jorge Carlos Peniche Pérez
Gabriela Rosiles González

Ayuntamiento de Cozumel

Seidy Araceli Crespo Catzín
Jacquelinne Flores Miguel
Lemuel Manases Mena Vega
Gibrán Tuxpan Torrijos
Germán Yáñez Mendoza

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
Calle 43 #130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205.
Mérida, Yucatán, México.

Centro Público de Investigación del Sistema Conacyt.

Primera edición: marzo de 2023.

Cuidado editorial: Julio César Domínguez Orta.
Corrección de estilo: Miguel Gibrán Román Canto.
Diseño editorial: Norma Marmolejo Quintero.
Fotografías: Fototeca CICY.

Hecho en México.



Contenido

5	Prólogo
9	Cenote Plaza Royal Village (1)
12	Cenote Plaza Royal Village (2)
15	Cenote Paraíso
18	Cenote Caletita
21	Cenote Cuartería
24	Cenote Chu-Ha
27	Cenote El Arco
30	Cenote Maravillas
33	Cenote Xcan-Ha
36	Cenote Helechos
39	Acciones del Gobierno municipal de Cozumel

Prólogo

¿Quiénes somos?

El Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY), es un Centro Público de Investigación del Sistema Conacyt que realiza investigación científica, forma recursos humanos, divulga el conocimiento, desarrolla y transfiere tecnología e impulsa el desarrollo de la sociedad en armonía con el medio ambiente. El CICY tiene presencia en Quintana Roo a través de la Unidad de Ciencias del Agua (UCIA), realizando investigación a favor del manejo sostenible de los recursos hídricos en la península de Yucatán. La UCIA está integrada por personal de investigación y técnico, estudiantes de posgrado y personal administrativo.

Con acciones como esta, el CICY colabora con la sociedad cozumeleña para que se cumpla el acceso al conocimiento científico y la información generada por los Centros Públicos de Investigación, garantizando las condiciones necesarias para que toda la ciudadanía conozca y participe en el pensamiento crítico sobre las condiciones de la isla que habitan. Queremos que esta *Tarjeta de reporte* se convierta para el Gobierno y la sociedad en general, en una herramienta de apoyo que brinde la oportunidad de conocer, investigar y generar en conjunto las estrategias para la protección del agua y los cenotes urbanos.

¿Qué es la *Tarjeta de reporte de cenotes urbanos de Cozumel*?

Es una herramienta informativa cuyo contenido breve y conciso, permite comunicar el estado de condición de un ecosistema; en este caso, de diez cenotes urbanos de Cozumel. Esta *Tarjeta de reporte* contiene la información y resultados generados como parte de la primera etapa de nuestro plan de investigación en la isla. Los cenotes son una ventana de comunicación en ambas direcciones entre la superficie y el agua subterránea, esta última, el recurso hídrico del que dependemos todas y todos para nuestras actividades diarias. Algunos cenotes son lugares de esparcimiento y nado recreativo para los habitantes de la

zona; desafortunadamente, otra parte de la población los usa como depósitos de residuos sólidos, electrodomésticos o material de construcción. Al ser una ventana de comunicación con nuestra agua subterránea y estar en contacto con residuos sólidos y líquidos de distinta naturaleza, es altamente probable que haya cambios en sus características, provocando que el agua que está en esa zona ya no se considere disponible para ser usada en condiciones seguras. Desafortunadamente las actividades humanas son las que modifican la calidad del agua de manera más notable, algunas de las cuales se logran identificar en esta *Tarjeta de reporte*.

A continuación se muestran siete indicadores del estado de condición de cada cenote urbano muestreado:

- 1. Estado trófico.** Es una expresión de la condición que tiene un ecosistema con base en la cuantificación de varias propiedades del agua: las formas disueltas de los nutrientes nitrógeno y fósforo, que se consideran aprovechables por los organismos; la clorofila, que es una medida de la productividad primaria de un sitio (es decir, cuántos productores primarios hay en un ecosistema); y la cantidad de oxígeno disuelto que hay en el agua.
- 2. Indicadores fecales bacteriológicos.** Son una respuesta básica de la gestión del agua para condiciones bacteriológicas. Pueden ser comparados con normatividades nacionales e internacionales y han servido en las evaluaciones de calidad de agua para indicar el potencial de presencia de patógenos en cuerpos de agua que pueden afectar a la salud humana. En este caso se evalúan bacterias coliformes fecales y la especie *Escherichia coli* (*E. coli*), que en algunas ocasiones puede causar enfermedades gastrointestinales.
- 3. Indicadores fecales virales.** Permiten monitorear el agua a través de virus colífagos, es decir, aquellos que infectan bacterias coliformes, como *Escherichia coli*, y los que infectan a plantas de chile, como el virus del moteado suave del pimiento (*Pepper Mild Mottle Virus*, abreviado como PMMoV). Ambos se utilizan para demostrar la presencia de heces fecales e indicar la presencia de otros virus que pueden provocar enfermedades en

los humanos. Este indicador se expresa con el número de copias del genoma, que es una medida indirecta de la cantidad de virus que podría haber en un cenote. A mayor número de copias de genoma, mayor probabilidad de provocar una enfermedad en los humanos.

- 4. Metales en sedimento.** El sedimento de los cenotes urbanos pueden tener, de manera constitutiva, elementos metálicos provenientes de la roca; no obstante, la presencia de otros metales sugiere contaminación de origen antropogénico. Algunos metales disponibles en el sedimento pueden ser liberados de manera relativamente fácil hacia el agua y representar un riesgo a la salud humana y ambiental. Asimismo, podrían liberarse cuando haya cambios drásticos en el suelo, como la pérdida de materia orgánica o la desecación.
- 5. Microplásticos (MP).** Son pequeñas piezas sólidas de plástico (mezclas de polímeros y aditivos funcionales) que pueden ser de un tamaño inferior a 5 milímetros y se consideran un contaminante emergente. Por su origen, se clasifican en MP primarios y secundarios. Los MP primarios se fabrican de ese tamaño para ser utilizados en productos cosméticos y farmacéuticos; mientras que los MP secundarios se producen por la degradación de plásticos más grandes que se fragmentan. Los MP se clasifican por su forma (fragmentos, fibras, pellets, esferas y espumas) y color. Los MP pueden contaminar diferentes ambientes, tanto terrestres como marinos, y pueden ser ingeridos por organismos como los peces.

6. Biodiversidad de zooplancton. El zooplancton incluye organismos microscópicos en el agua que son consumidores primarios, además de ser parte fundamental de la red trófica (cadenas alimenticias que mantienen el ecosistema). En general, nos indica que la mayor diversidad de zooplancton se relaciona con una mayor disponibilidad de alimento en el ambiente, con una alta y eficiente transferencia de energía y una mejor condición del cenote.

7. Biodiversidad de peces. La presencia o ausencia de las especies de peces características de los cenotes, representa un indicador claro de las condiciones del estado de salud del ambiente, puesto que dichas especies son altamente susceptibles a las alteraciones de las condiciones del agua. De manera similar, la presencia de especies exóticas indica una afectación antropogénica directa. Algunas veces, los peces son depredadores tope en el medio acuático, por lo que tienden a acumular contaminantes, proporcionando de esta manera información valiosa acerca de las condiciones del medio.

El **Semáforo de estado de condición** para cada uno de los cenotes urbanos estudiados, se compone de las siguientes secciones:

- Nombre y coordenadas geográficas.
- Mapa de ubicación.
- Semáforo de condición.
- Riesgos ambientales.
- Acciones sugeridas.
- Observaciones.
- Fotografías.

El **Semáforo** está compuesto por un color que representa la condición identificada, que va del rojo (muy mala) hasta el verde (muy buena); esto se basa en criterios de evaluación como índices internacionales, normatividad mexicana y criterios ecológicos de calidad para la protección de la vida acuática del agua dulce. Para los indicadores no normados (como virus entéricos, microplásticos y diversidad de organismos acuáticos) se elaboraron categorías de evaluación con escalas basadas en criterios de resultados publicados y avalados por la comunidad científica, o con base en la experiencia de los investigadores e investigadoras participantes, considerando únicamente los resultados de Cozumel para evitar comparaciones incompatibles.

Una vez que se regresaron las muestras a los laboratorios, se realizaron todos los análisis necesarios mediante métodos de prueba validados por el personal de investigación, asegurándose de que los datos sean precisos, exactos y de calidad. Al obtener todos los resultados y verificarse su calidad, se integraron en los siete indicadores mencionados para realizar la evaluación y asignar categorías. Al final, con estos indicadores categorizados por número y color, se integraron las fichas para el **Semáforo del estado de condición**.

¿Por qué tener una *Tarjeta de reporte de cenotes urbanos de Cozumel*?

Como parte de las acciones en pro de la población y el medio ambiente de Cozumel, la administración municipal 2021-2024 encomendó a la Subdirección de Ecología, llevar a cabo un programa que contemplara la calidad del agua y educación ambiental sobre nuestro recurso hídrico. Para lograrlo, durante los primeros meses de la administración se llevó a cabo un registro de cenotes de la isla de Cozumel. Este esfuerzo es el primero en su tipo, ya que no se contaba con esta información; esto significa un paso imprescindible y de gran importancia en el cuidado del agua y su visualización como un tema prioritario para el municipio.

Como parte de estas acciones, se localizaron y ubicaron geográficamente 36 cenotes

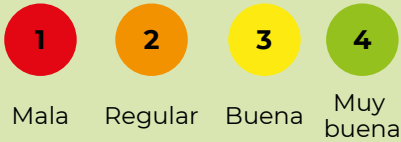
dentro de la mancha urbana de la isla de Cozumel. Esto se logró con ayuda de la ciudadanía, quienes reportaron todos los cenotes, cavernas secas e inundadas que hubiese en jardines, parques, casas habitación, escuelas, así como terrenos donde la población tuviera conocimiento de la presencia de estas manifestaciones geológicas kársticas.

El éxito de este programa se corona con la presentación de esta *Tarjeta de Reporte de cenotes urbanos de Cozumel*, gracias a la ciudadanía que confió en la iniciativa y por la disposición en compartirnos esta valiosa información.

**Subdirección de Ecología,
H. Ayuntamiento de Cozumel.**



Cenote Plaza Royal Village (1)



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicadores fecales bacteriológicos:



Indicadores fecales virales:



Metales en sedimento:



Microplásticos:



Biodiversidad zooplancton:

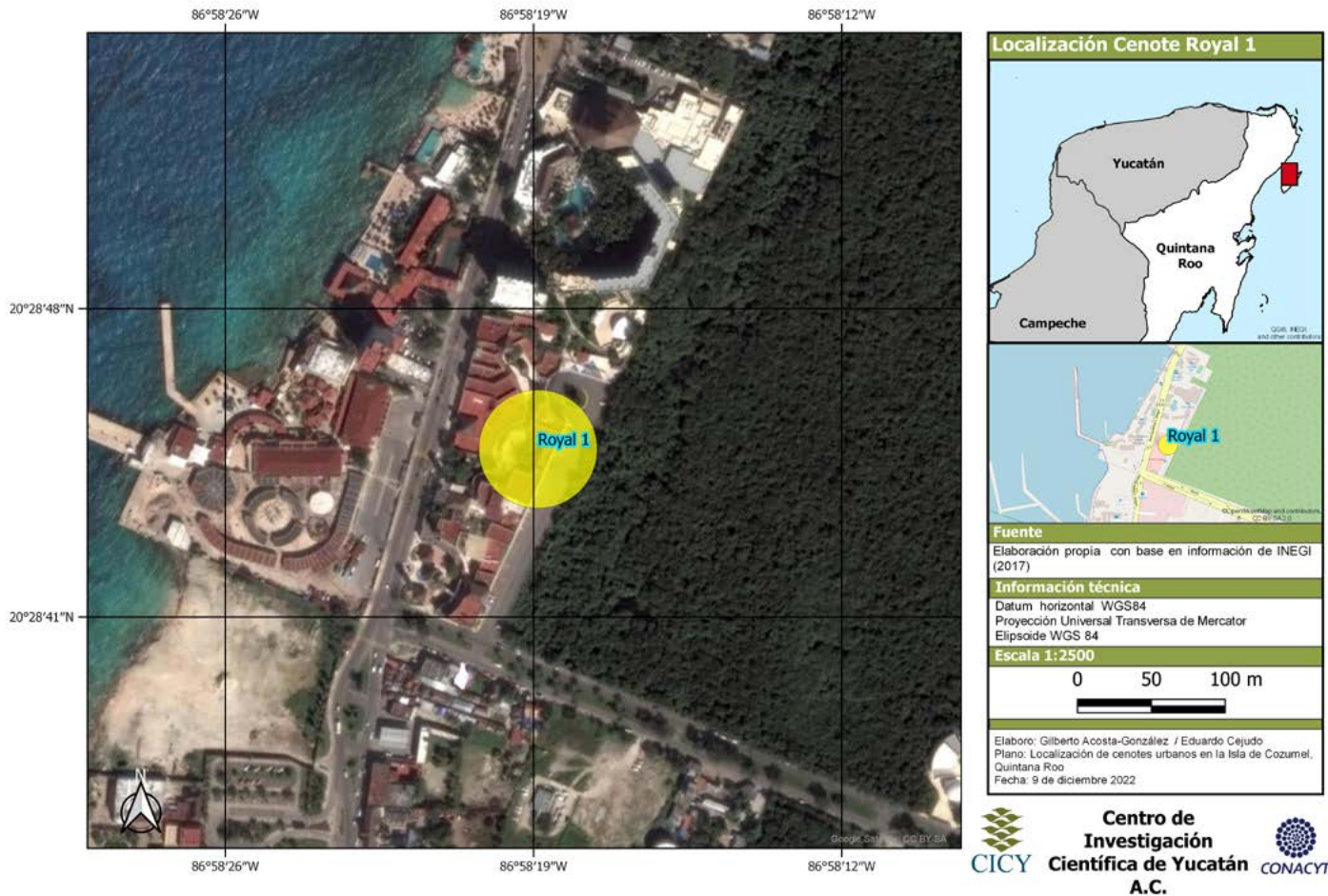


Biodiversidad de peces:



Este cenote fue identificado en el 2005 por el explorador Mike Young, quien lo nombró como *No Name Cenote*, es decir, *Cenote sin nombre*; posteriormente, con la construcción del centro comercial, se cambió la denominación a cenote Plaza Royal Village. Este es un cenote modificado, con protección alrededor y conexión a caverna. Tiene vegetación creciendo en el interior y fauna visible (tortugas y peces). Tanto este, como el cenote Royal Village 2, se conectan entre sí, ambos por un pasaje de aproximadamente 500 m. Los dos cenotes tienen conexión al mar.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20.479089° N, -86.971971° O

RIESGOS AMBIENTALES

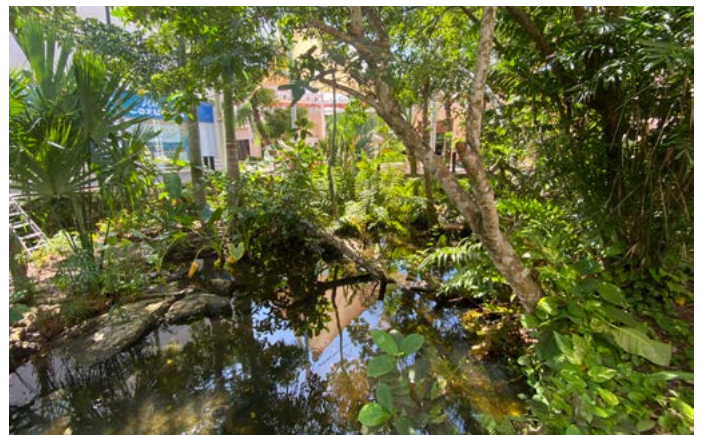
- No cumple con el límite sugerido de fosfatos para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).
- Excede los límites máximos permisibles de coliformes fecales y *Escherichia coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- Elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 1000 copias de genoma), lo que aumenta la probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana, con afectación a su salud.
- Presencia de metales como aluminio, bario y zinc en sedimentos que pueden quedar disponibles al ambiente.

ACCIONES SUGERIDAS

- La fuente principal de indicadores virales fecales procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Se sugiere verificar que las plantas de tratamiento de aguas residuales cumplan con lo establecido en la NOM vigente.
- Campaña para evitar el fecalismo al aire libre.
- Talleres y actividades de educación ambiental y educación hídrica.
- Aplicación estricta del marco legal sobre residuos líquidos y sólidos.

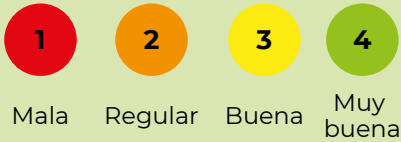
OBSERVACIONES

- Cuenta con poca diversidad de peces
- Dada la cercanía del cenote con la plaza comercial, se incrementa la posibilidad de contacto humano por efecto de la brisa que arrastre partículas de agua del cenote y disperse los virus, siendo vía de transmisión de algunos virus entéricos por inhalación.
- Durante su construcción se suscitó el colapso del suelo de una tienda, lo cual derivó en relleno y cobertura de esta depresión, afectando al flujo hídrico natural y local.



Cenote Plaza Royal Village (2)

Cenote modificado y delimitado al interior de Plaza Royal Village, ubicado frente a la Terminal Internacional de Cruceiros. Tanto este, como el cenote Royal Village 1, se conectan entre sí, ambos por un pasaje de aproximadamente 500 m. Los dos cenotes tienen conexión al mar.



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicadores fecales bacteriológicos:



Indicadores fecales virales:



Metales en sedimento:



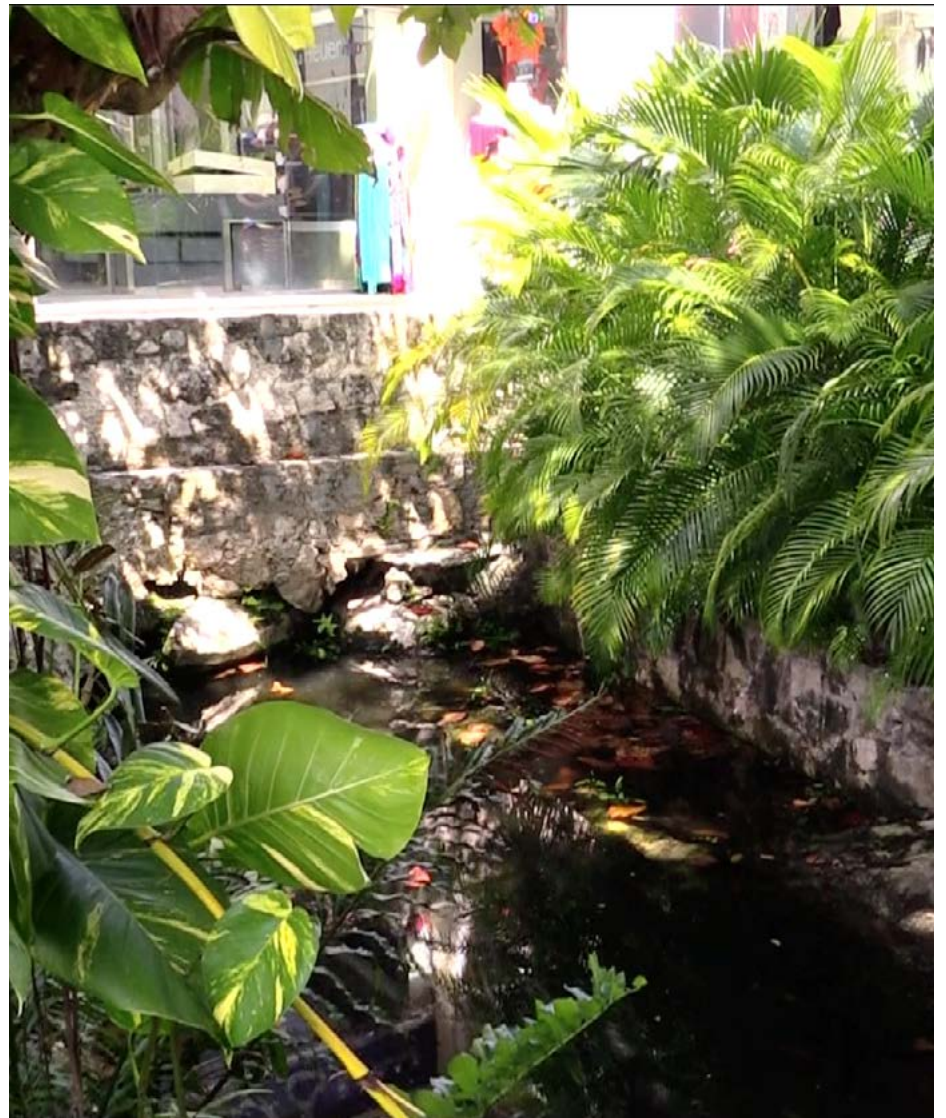
Microplásticos:

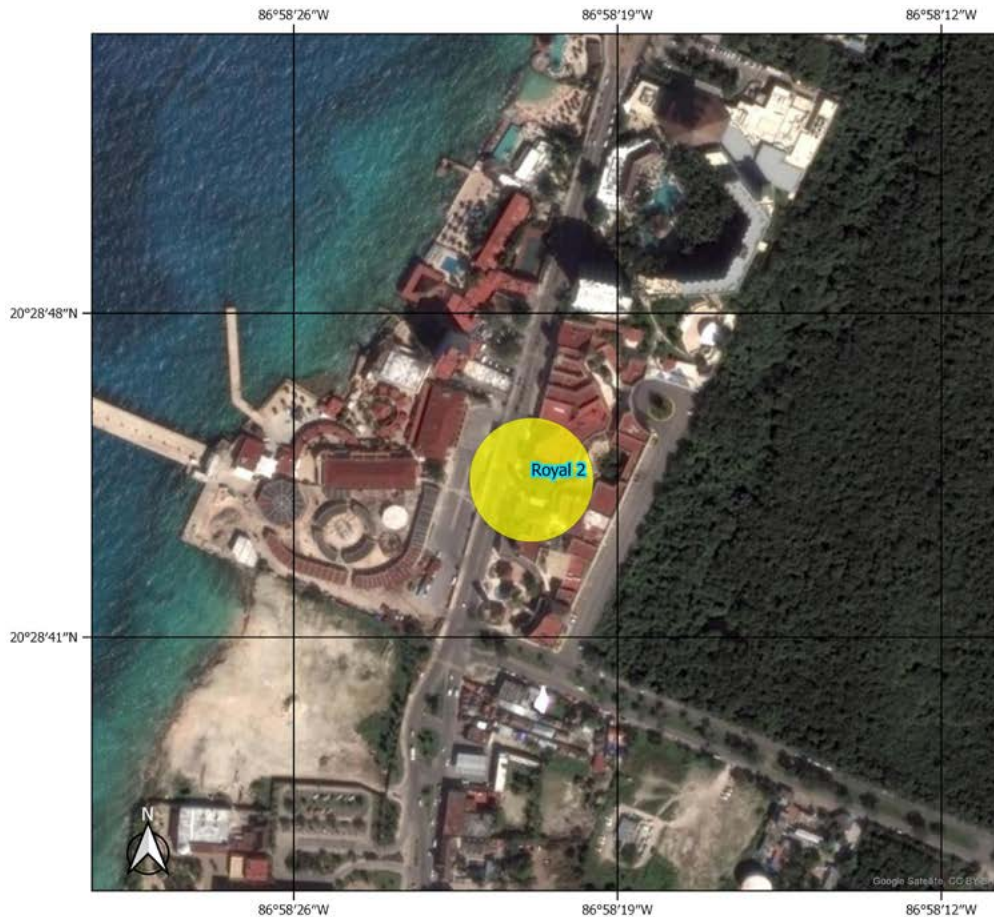


Biodiversidad zooplancton:



Biodiversidad de peces:





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20.479015° N, -86.963293° O

RIESGOS AMBIENTALES

- No cumple con el límite sugerido de fosfatos para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).
- Excede los límites máximos permisibles de coliformes fecales y *Escherichia coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes kársticos.
- Elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 100 copias de genoma), aumenta la probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana, con afectación a su salud.
- Presencia de metales como aluminio, bario y zinc en sedimentos que pueden quedar disponibles al ambiente.

ACCIONES SUGERIDAS

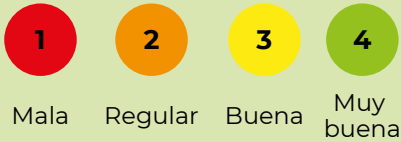
- La fuente principal de indicadores virales fecales procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Se sugiere verificar que las plantas de tratamiento de aguas residuales cumplan con lo establecido en la NOM vigente.
- Campaña para evitar el fecalismo al aire libre.
- Talleres y actividades de educación ambiental y educación hídrica
- Aplicación estricta del marco legal sobre residuos líquidos y sólidos.

OBSERVACIONES

- Cuenta con poca diversidad de peces, es un ambiente modificado con cableado y circuitos eléctricos en su interior.
- Dada la cercanía del cenote con la plaza comercial, se incrementa la posibilidad de contacto humano por efecto de la brisa que arrastre partículas de agua del cenote y disperse los virus, siendo vía de transmisión de algunos virus entéricos por inhalación.



Cenote Paraíso



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicadores fecales bacteriológicos:



Indicadores fecales virales:



Metales en sedimento:



Microplásticos:



Biodiversidad zooplancton:



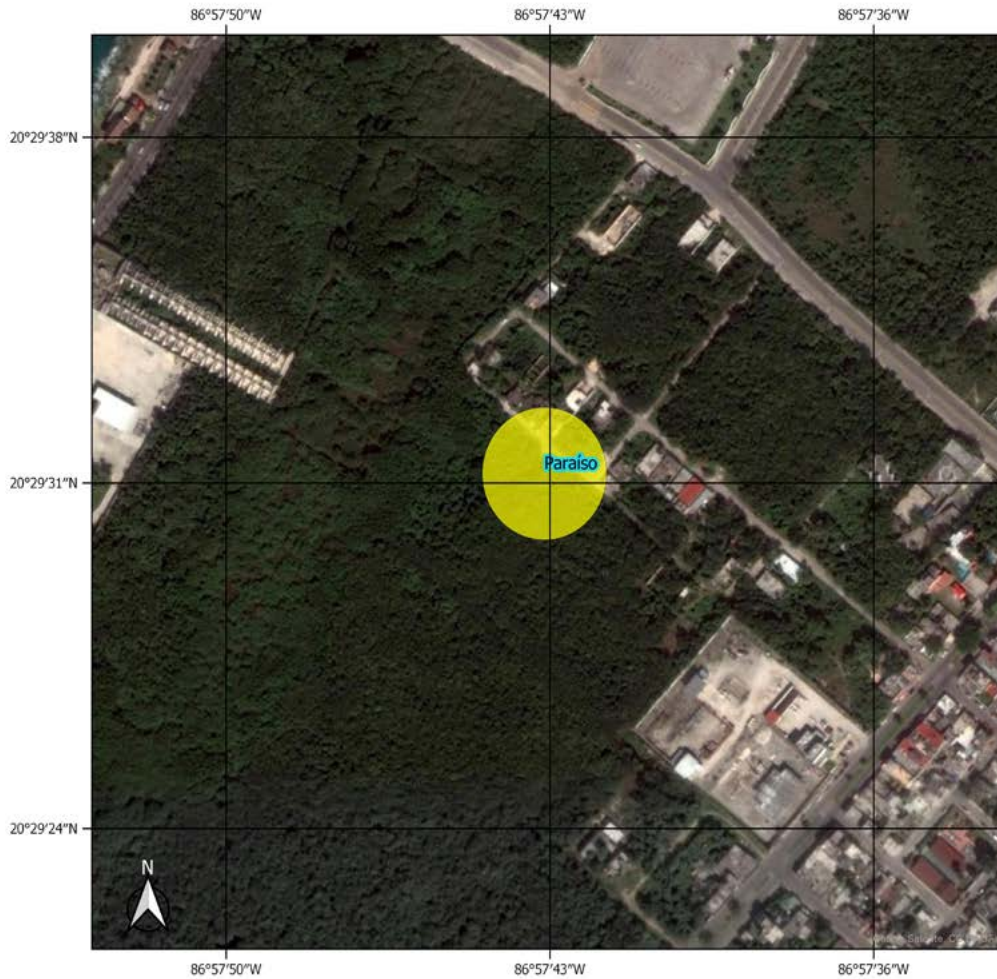
Biodiversidad de peces:



Este cenote fue explorado por el espeleólogo Germán Yáñez en 2005. No es un cenote con características adecuadas para el buceo. En algún momento fue utilizado para verter aguas negras de forma clandestina. Como parte de la expansión urbana, el agua del cenote fue usada para la preparación de concreto usado en construcciones.

Es un cenote abierto localizado en una zona urbana sobre una calle de tránsito local, frente a casas. Se encuentra en un terreno amplio con vegetación tipo manglar y residuos sólidos presentes de forma moderada.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20.492054° N, -86.962034° O

RIESGOS AMBIENTALES

- No cumple con el límite sugerido de amonio y fosfatos para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89)
- Excede los límites máximos permisibles de coliformes fecales y *Escherichia coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes kársticos.
- Elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 100 copias de genoma), aumenta la probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana, con afectación a su salud.
- Presencia de metales como bario y zinc en sedimentos que pueden quedar disponibles al ambiente.

ACCIONES SUGERIDAS

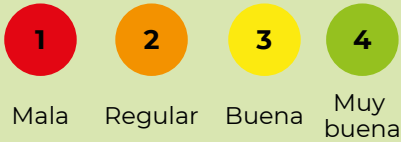
- La fuente principal de indicadores virales fecales procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Se sugiere verificar que las plantas de tratamiento de aguas residuales cumplan con lo establecido en la NOM vigente.
- Campaña para evitar el fecalismo al aire libre.
- Talleres y actividades de educación ambiental y educación hídrica
- Aplicación estricta del marco legal sobre residuos líquidos y sólidos.

OBSERVACIONES

- Cenote con agua salobre (5 unidades prácticas de salinidad) que sugiere mezcla con agua de mar.
- Presencia de árboles de mangle y la existencia de bancas, evidencian que alguna vez fue área de recreación.
- No es un cenote apto para buceo. Se desconoce si hay desarrollo vertical u horizontal.
- El cenote fue utilizado para verter aguas negras de forma clandestina. Hasta que la autoridad lo canceló, se dejó de realizar esa mala práctica.



Cenote Caletita



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicadores fecales bacteriológicos:



Indicadores fecales virales:



Metales en sedimento:



Microplásticos:



Biodiversidad zooplancton:

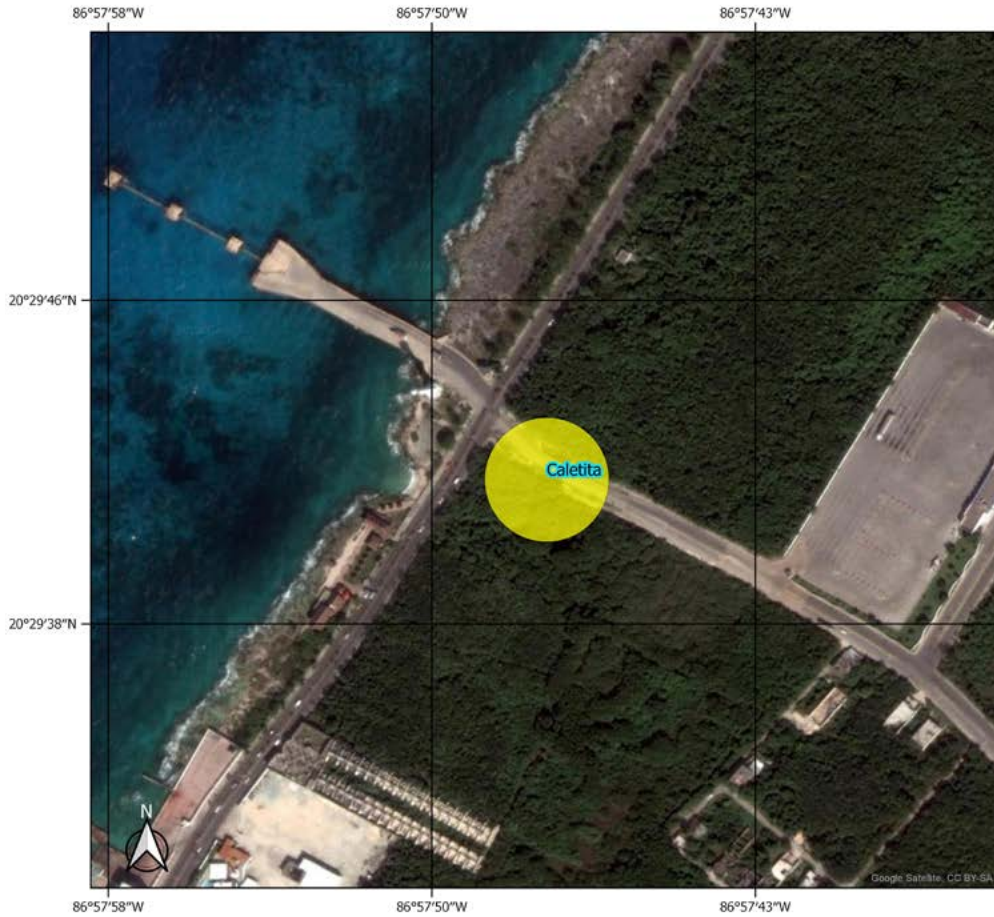


Biodiversidad de peces:



Cenote ubicado a 100 m de la costa. Es una depresión del paisaje que quedó expuesta, alrededor del año 2008, como resultado de la construcción de la carretera que lleva al muelle del cruce de autos. Por estar debajo de un puente, al paso de los autos el agua cae directamente al cenote. Tiene un espejo de agua grande y somero con alta turbidez y presencia de basura (plásticos).





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20.494891° N, -86.963289° O

RIESGOS AMBIENTALES

- No cumple con el límite sugerido de fosfatos para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).
- Excede los límites máximos permisibles de coliformes fecales y *Escherichia coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes kársticos.
- Elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 1000 copias de genoma), aumenta la probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana, con afectación a su salud.
- Presencia del metal cobre soluble en el agua. Presencia de los metales bario y zinc en sedimentos que pueden quedar disponibles al ambiente.
- Ubicado debajo de un puente, donde al paso de los autos, el agua de lluvia y drenaje pluvial caen directamente al cenote.
- Presencia de la especie de pez exótica invasora *Oreochromis niloticus* (mojarra).
- Se sabe que el sitio ha sido usado para depositar peces de acuario.

ACCIONES SUGERIDAS

- La fuente principal de indicadores virales fecales procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Se sugiere verificar que las plantas de tratamiento de aguas residuales cumplan con lo establecido en la NOM vigente.
- Campaña para evitar el fecalismo al aire libre.
- Talleres y actividades de educación ambiental y educación hídrica.
- Aplicación estricta del marco legal sobre residuos líquidos y sólidos.

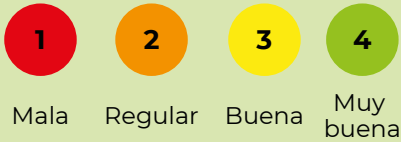


OBSERVACIONES

- Presencia de la especie de pez protegida *Poecilia velifera* (de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010).
- No se cuenta con un pasaje suficientemente grande para conocer su desarrollo, pero tiene conexión con el mar Caribe.
- Presencia de peces de afinidad marina, que sugiere comunicación con el mar.
- A pesar de la cantidad elevada de residuos sólidos, el conteo de microplásticos no es elevado (de 11 a 20 MP por litro de agua).
- Los virus entéricos son altamente persistentes en el ambiente acuático. Considerando que el agua es su principal vehículo de diseminación y por la cercanía del cenote al mar, existe una alta probabilidad de exposición humana por contacto al realizar actividades recreativas en el mar.
- Forma parte de los sitios supervisados por el Ayuntamiento.



Cenote Cuartería



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicadores fecales bacteriológicos:



Indicadores fecales virales:



Metales en sedimento:



Microplásticos:



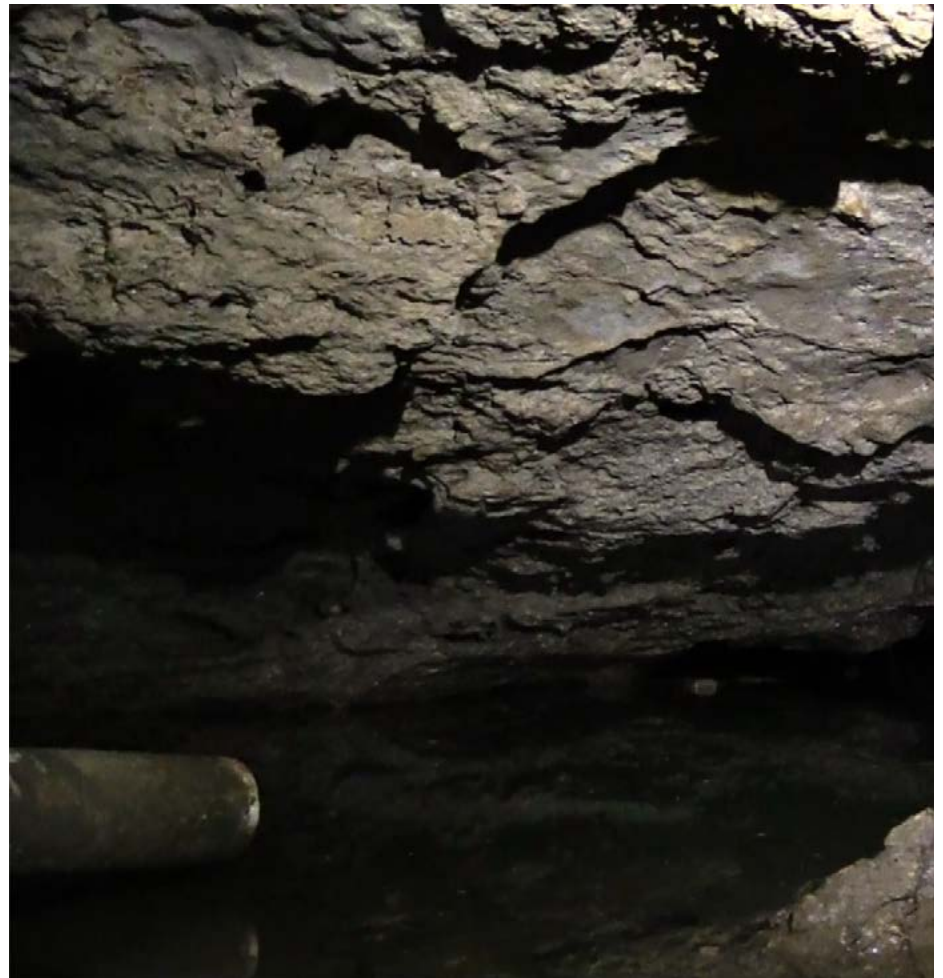
Biodiversidad zooplancton:

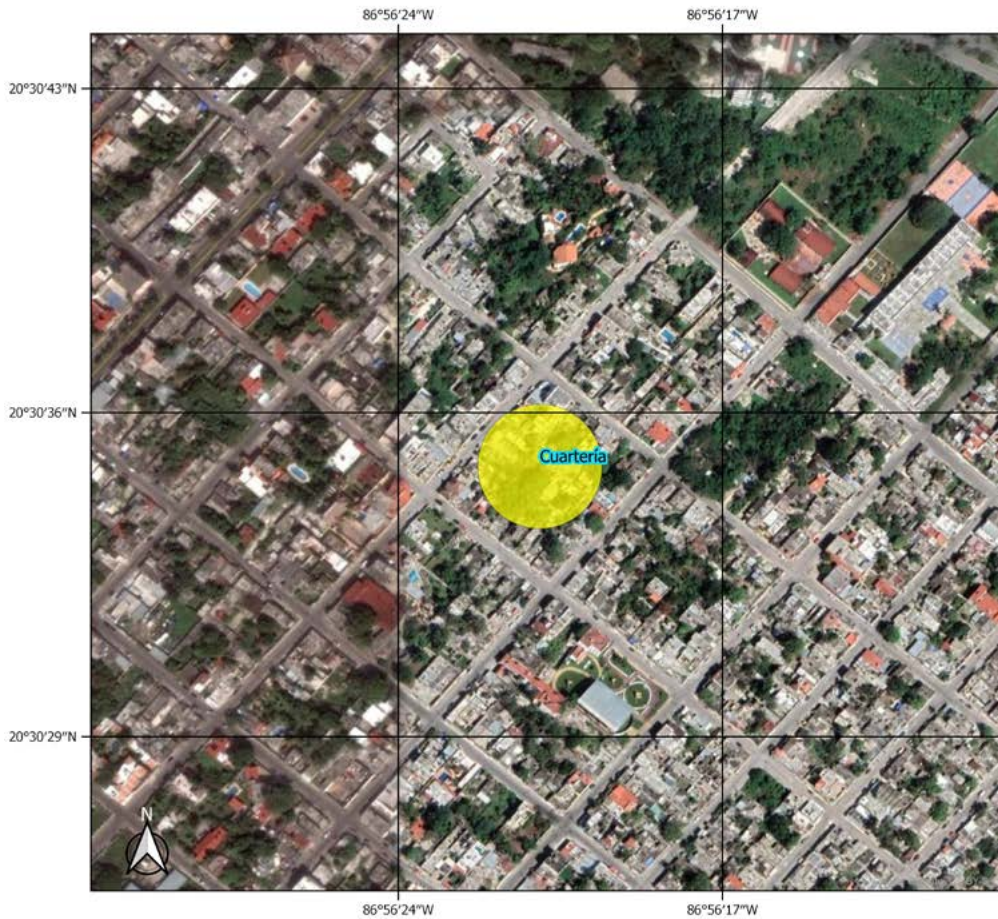


Biodiversidad de peces:



Este cenote fue identificado en el año 2022 a través de una denuncia ciudadana por la existencia de un tubo de desagüe de aguas residuales. Es un cenote semicerrado con una cavidad seca y otra con un cuerpo de agua. Está ubicado cerca del aeropuerto, dentro de un conjunto de residencias pequeñas (vecindad). Tiene presencia de excesivos residuos sólidos urbanos, material de construcción y electrodomésticos.





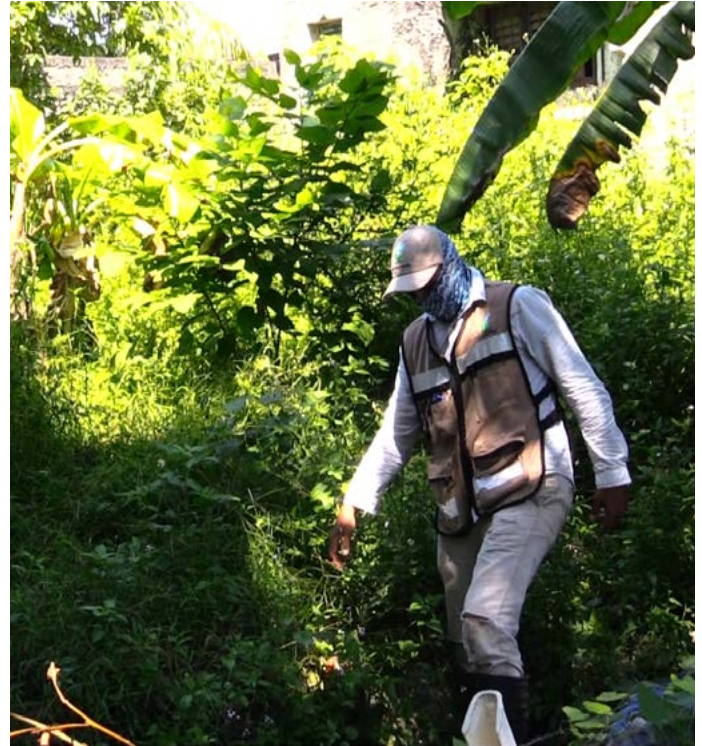
UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20.509668° N, -86.939126 °O

RIESGOS AMBIENTALES

- No cumple con el límite sugerido de amonio y fosfatos para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).
- Excede los límites máximos permisibles de coliformes fecales y *Escherichia coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes kársticos.
- Elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 1000 copias de genoma), aumenta la probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana, con afectación a su salud.
- Presencia de los metales bario y zinc en sedimentos que pueden quedar disponibles al ambiente.

ACCIONES SUGERIDAS

- Confirmar la conexión de agua residual a drenaje público.
- La fuente principal de indicadores virales fecales procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Se sugiere verificar que las plantas de tratamiento de aguas residuales cumplan con lo establecido en la NOM vigente.
- Campaña para evitar el fecalismo al aire libre.
- Talleres y actividades de educación ambiental y educación hídrica.
- Aplicación estricta del marco legal sobre residuos líquidos y sólidos.
- Coordinación con el organismo operador para verificar el origen de descarga clandestina de agua residual y su cancelación.

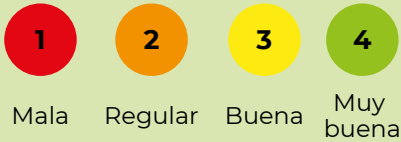


OBSERVACIONES

- No hay presencia de peces por tener características de caverna semiinundada.
- Excesivos residuos sólidos urbanos que representan un riesgo a la integridad de los habitantes.
- Dada la cercanía del cenote con las casas-habitación, se incrementa la posibilidad de contacto humano por efecto de la brisa que arrastre partículas del agua del cenote y disperse los virus, siendo vía de transmisión de algunos virus entéricos por inhalación.



Cenote Chu-Ha



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicadores fecales bacteriológicos:



Indicadores fecales virales:



Metales en sedimento:



Microplásticos:



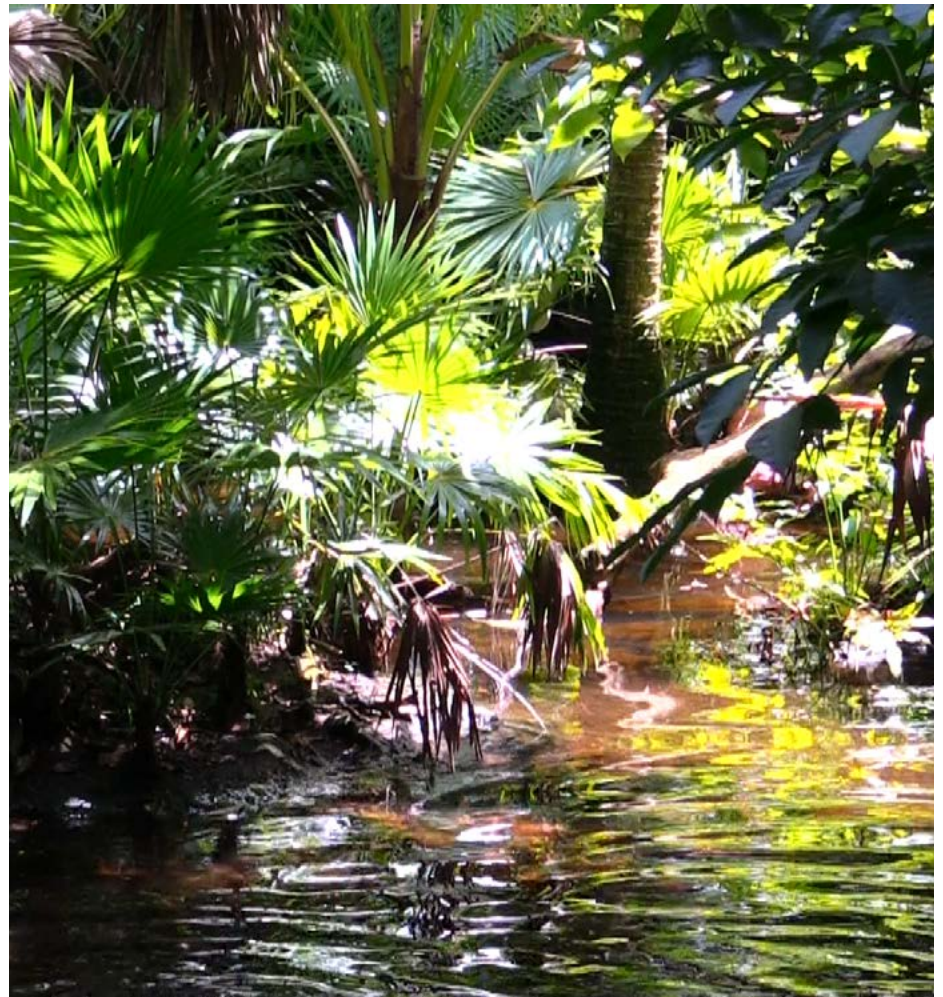
Biodiversidad zooplancton:

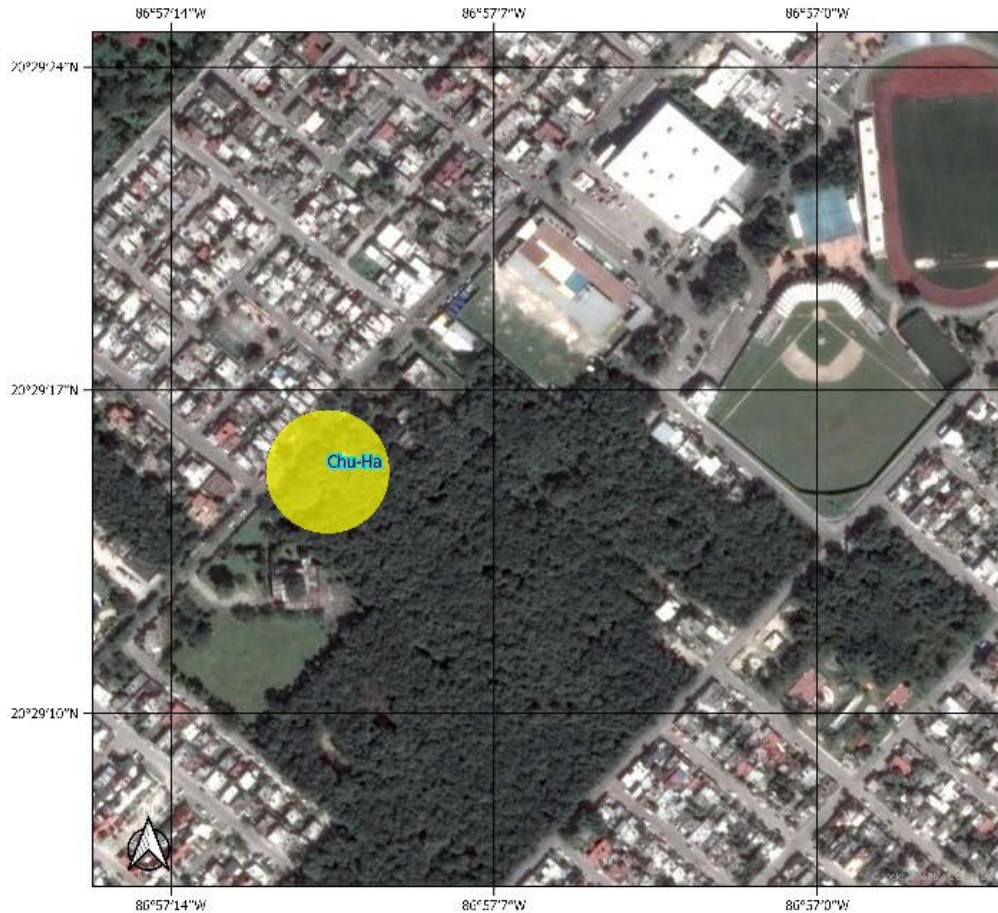


Biodiversidad de peces:



Este cenote fue explorado en 1995. En el sitio se descubrieron vasijas prehispánicas recuperadas por el INAH-Quintana Roo, todas pertenecientes al período Posclásico Tardío (1200 a 1521 de nuestra era). Es un cenote abierto, ubicado en instalaciones de la Secretaría de Ecología, frente a casas y comercios. Este cenote ha sido muy popular, ya que es un área pública que se usa para demostración y concientización de cenotes; lo visitan turistas y personas de la comunidad.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20.487497° N, -86.95303° O

RIESGOS AMBIENTALES

- No cumple con el límite sugerido de fosfatos para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).
- Excede los límites máximos permisibles de coliformes fecales y *Escherichia coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes kársticos.
- Alto número de indicadores fecales virales (mayor a 100 copias de genoma), aumenta la probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana, con afectación a su salud.
- Presencia de los metales bario y zinc en sedimentos que pueden quedar disponibles al ambiente.

ACCIONES SUGERIDAS

- La fuente principal de indicadores virales fecales procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Se sugiere verificar que las plantas de tratamiento de aguas residuales cumplan con lo establecido en la NOM vigente.
- Campaña para evitar el fecalismo al aire libre.
- Talleres y actividades de educación ambiental y educación hídrica.
- Aplicación estricta del marco legal sobre residuos líquidos y sólidos.

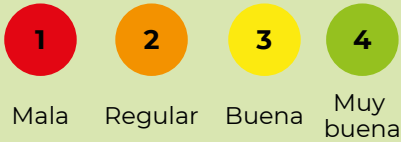


OBSERVACIONES

- Presencia de la especie de pez protegida *Poecilia velifera* (de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010).
- Una de las vías de transmisión de algunos virus entéricos es por la absorción nasal como resultado del uso de aerosoles, incrementando la probabilidad de exposición humana por contacto.
- En fechas recientes se registró una especie de crustáceo estigobio del género *Agostocaris*. La fauna estigobia incluye organismos que viven completamente en los sistemas subterráneos y que presentan adaptaciones y estrategias para su sobrevivencia.
- Se ha intentado crear el mapa del sistema de conductos de este cenote, pero no se ha logrado concluir.



Cenote El Arco



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicadores fecales bacteriológicos:



Indicadores fecales virales:



Metales en sedimento:



Microplásticos:



Biodiversidad zooplancton:

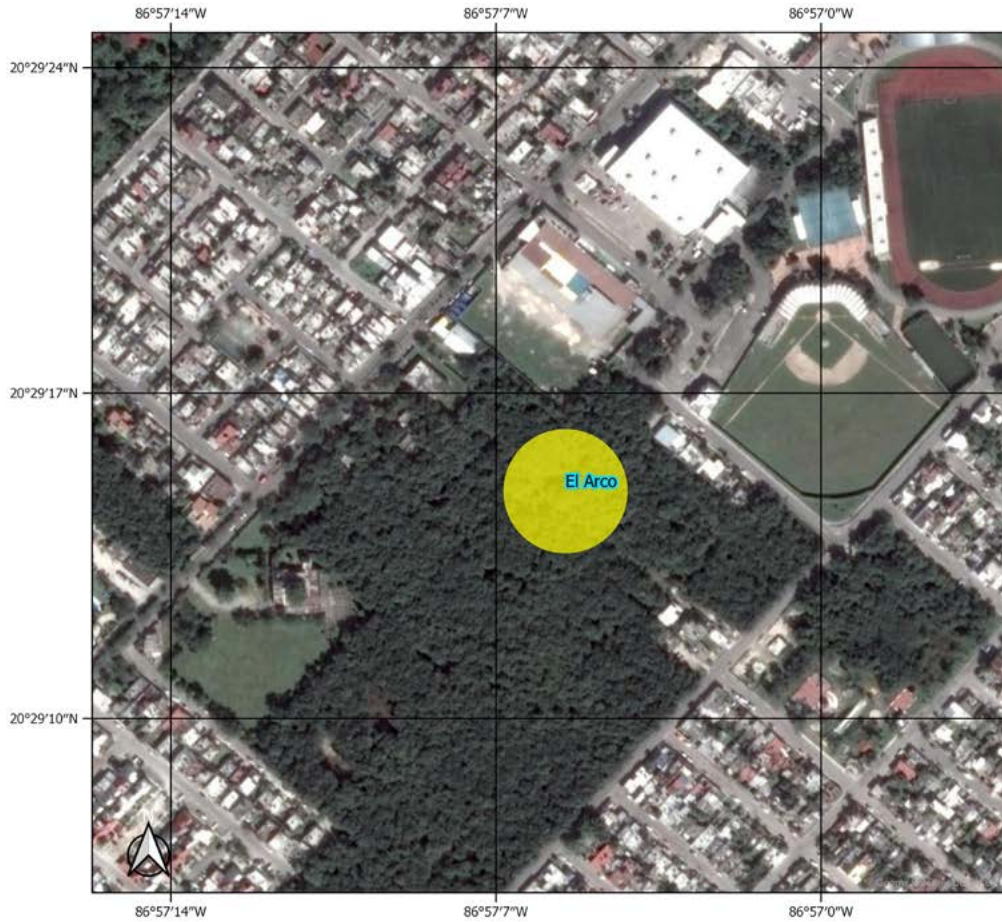


Biodiversidad de peces:



Cenote abierto en cueva, ubicado atrás de parque Bicentenario y cercano a la zona de depósito de residuos sólidos urbanos y material de construcción. Es un cenote con dos entradas, una natural y otra por un pozo. Se puede observar una forma de arco de roca caliza y por dicha característica se le otorga este nombre. No se cuenta aún con mucha información del sitio.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20.487397° N, -86.951572° O

RIESGOS AMBIENTALES

- No cumple con el límite sugerido de amonio y fosfatos para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).
- Excede los límites máximos permisibles de coliformes fecales y *Escherichia coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes kársticos.
- Cenote con mayor cantidad de microplásticos (50 partículas por litro de agua).
- Presencia de los metales bario, cadmio, litio y zinc en sedimentos que pueden quedar disponibles al ambiente.

ACCIONES SUGERIDAS

- Remoción de residuos de material de construcción.
- Campaña para evitar el fecalismo al aire libre.
- Talleres y actividades de educación ambiental y educación hídrica.
- Aplicación estricta del marco legal sobre residuos líquidos y sólidos.

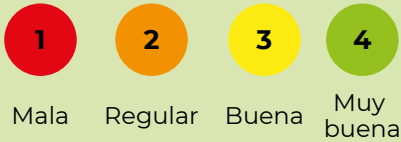


OBSERVACIONES

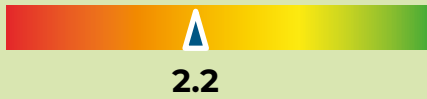
- Presencia de la especie de pez protegida *Poecilia velifera* (de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010).
- Se desconoce si tiene desarrollo horizontal o vertical dentro del agua.
- Se localiza dentro de una propiedad privada y a su alrededor hay presencia de viviendas que probablemente ocuparon el agua dulce para llevar a cabo las construcciones.



Cenote Maravillas



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicadores fecales bacteriológicos:



Indicadores fecales virales:



Metales en sedimento:



Microplásticos:



Biodiversidad zooplancton:

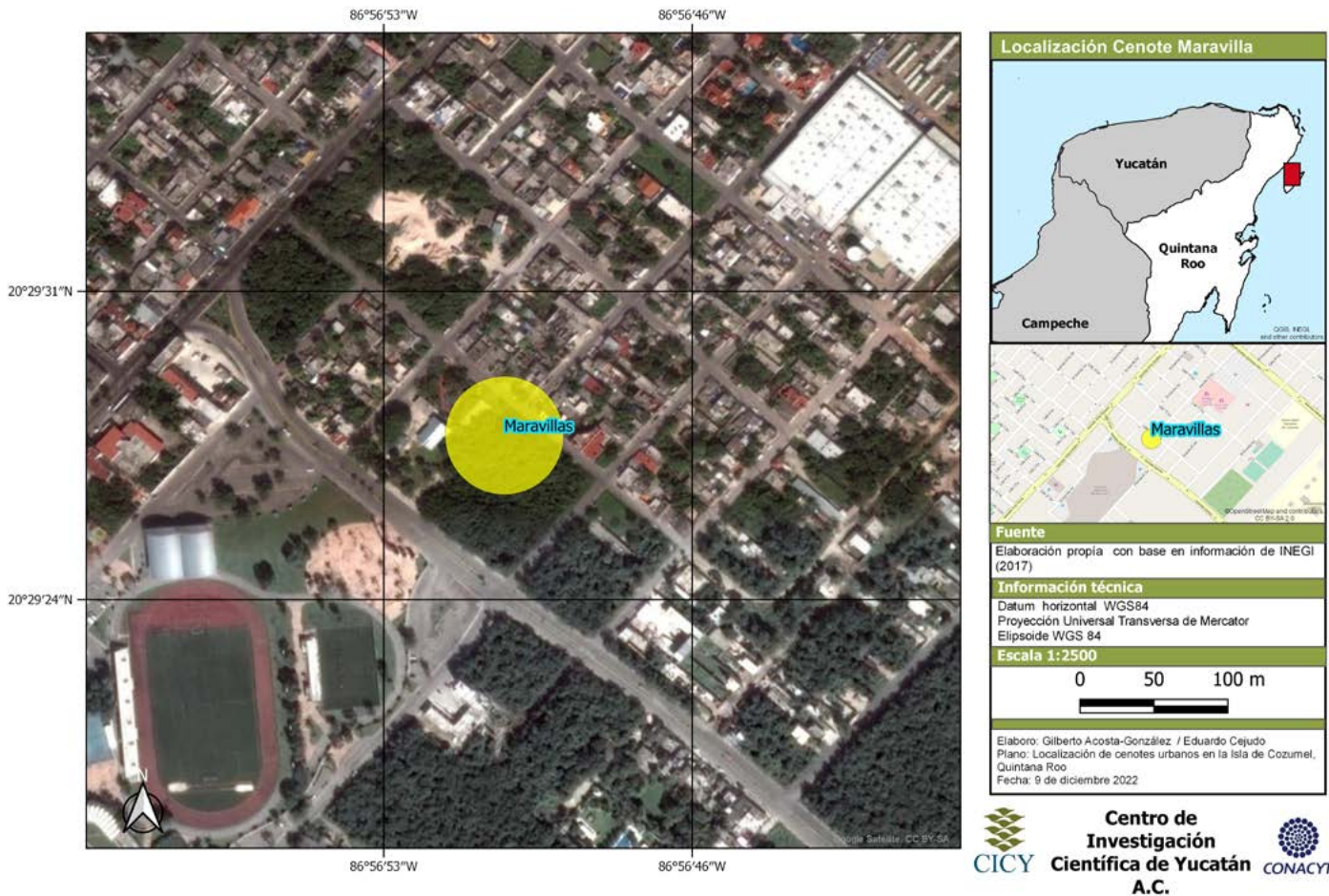


Biodiversidad de peces:



Este cenote se conoce desde el año 2000, cuando empezó el desarrollo de la colonia con ese nombre. El sitio fue destinado como área de recreación de la colonia por su belleza y abundancia de peces. Es un cenote abierto, ubicado al pie de una calle de tránsito local, con presencia de vegetación y poca basura. Se tiene conocimiento de acciones de saneamiento del cenote en los últimos 10 años por parte de administraciones previas.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20.491065° N, -86.947218° O

RIESGOS AMBIENTALES

- No cumple con el límite sugerido de fosfatos para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).
- Excede los límites máximos permisibles de coliformes fecales y *Escherichia coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes kársticos.
- Baja probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y bajo riesgo a la exposición humana.
- Presencia de los metales aluminio, bario, litio y zinc en sedimentos que pueden quedar disponibles al ambiente.
- Presencia de la especie de pez exótica invasora *Oreochromis niloticus* (mojarra).

ACCIONES SUGERIDAS

- Campaña para evitar el fecalismo al aire libre.
- Retomar acciones de saneamiento en el exterior.
- Talleres y actividades de educación ambiental y educación hídrica.
- Aplicación estricta del marco legal sobre residuos líquidos y sólidos.

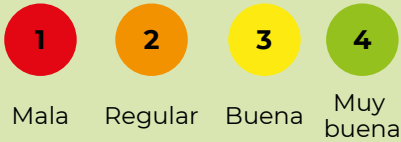
OBSERVACIONES

- Presencia de la especie de pez protegida *Poecilia velifera* (de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010).
- El nivel de agua a ras de piso y las mediciones hacen suponer una probable mezcla de agua subterránea y de lluvia.
- Este cenote no es apto para el buceo. Se desconoce su grado de desarrollo vertical u horizontal.

Oreochromis niloticus (mojarra).



Cenote Xkan-Ha



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicadores fecales bacteriológicos:



Indicadores fecales virales:



Metales en sedimento:



Microplásticos:



Biodiversidad zooplancton:

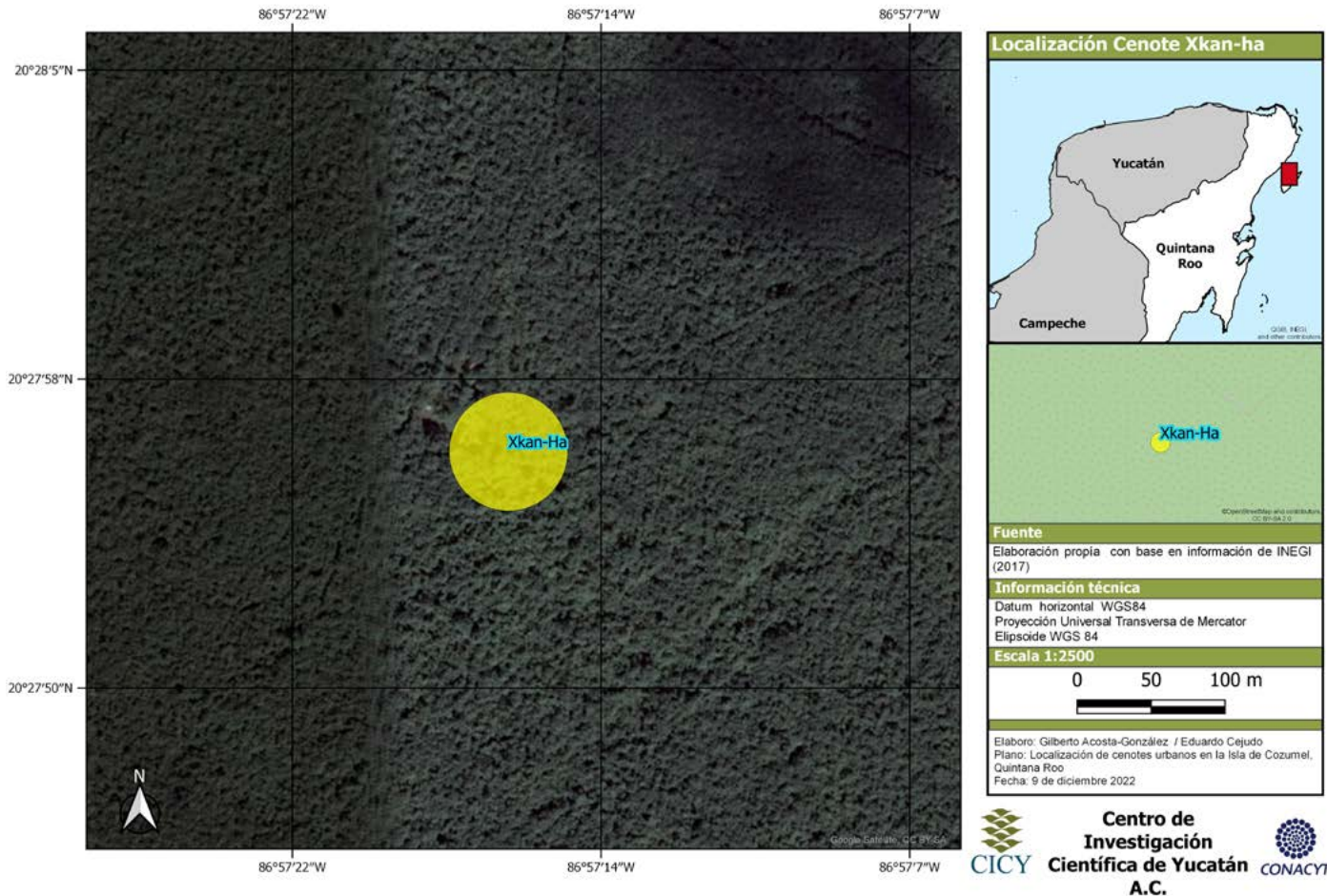


Biodiversidad de peces:



Cenote recreacional con andadores y plataformas, abierto pero cubierto con vegetación arbórea. Este cenote se localiza en un área fuera de la mancha urbana; actualmente existe un temazcal y servicios turísticos. Es de los cenotes más profundos de la isla, no tiene desarrollo horizontal pero sí vertical, con una profundidad máxima de 60 metros. Este cenote se descubrió cuando se realizó el Congreso Internacional de Espeleobuceo de la National Association for Cave Diving (NACD) en los años ochenta.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20.465531° N, -86.9546° O

RIESGOS AMBIENTALES

- Excede los límites máximos permisibles de coliformes fecales y *Escherichia coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes kársticos.
- Presencia de los metales bario, litio y zinc en sedimentos que pueden quedar disponibles al ambiente.
- Solamente se registró el pez mosquito (*Gambusia yucatanana*).



Gambusia yucatanana (pez mosquito).

ACCIONES SUGERIDAS

- Campaña para evitar el fecalismo al aire libre.
- Mantenimiento frecuente a fosa séptica o conexión de aguas residuales (baños) al drenaje municipal.
- Talleres y actividades de educación ambiental y educación hídrica.
- Aplicación estricta del marco legal sobre residuos líquidos y sólidos.

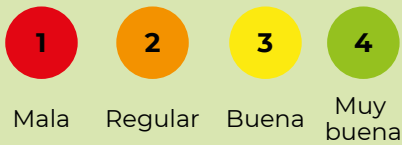
OBSERVACIONES

- No se detectaron indicadores fecales virales.
- Es el cenote más alejado de la ciudad; no obstante, hay registro de microplásticos (entre 21 y 30 partículas por litro de agua).
- Dentro del cuerpo de agua, en la zona de agua salada se observó un crustáceo estigobio del género *Agostocaris*. La fauna estigobia incluye organismos que viven completamente en los sistemas subterráneos y que presentan adaptaciones y estrategias para su sobrevivencia.



Cenote Helechos

Cenote abierto con conexión a caverna. Ubicado en un lote baldío con abundante presencia de vegetación. Presencia de residuos sólidos urbanos y fecalismo al aire libre. Este cenote fue identificado y localizado por medio de un reporte en redes sociales en 2018, debido a la presencia de personas en situación de calle. En esa fecha se organizó una actividad de saneamiento colectivo con la participación de personas de diferentes instituciones educativas.



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicadores fecales bacteriológicos:



Indicadores fecales virales:



Metales en sedimento:



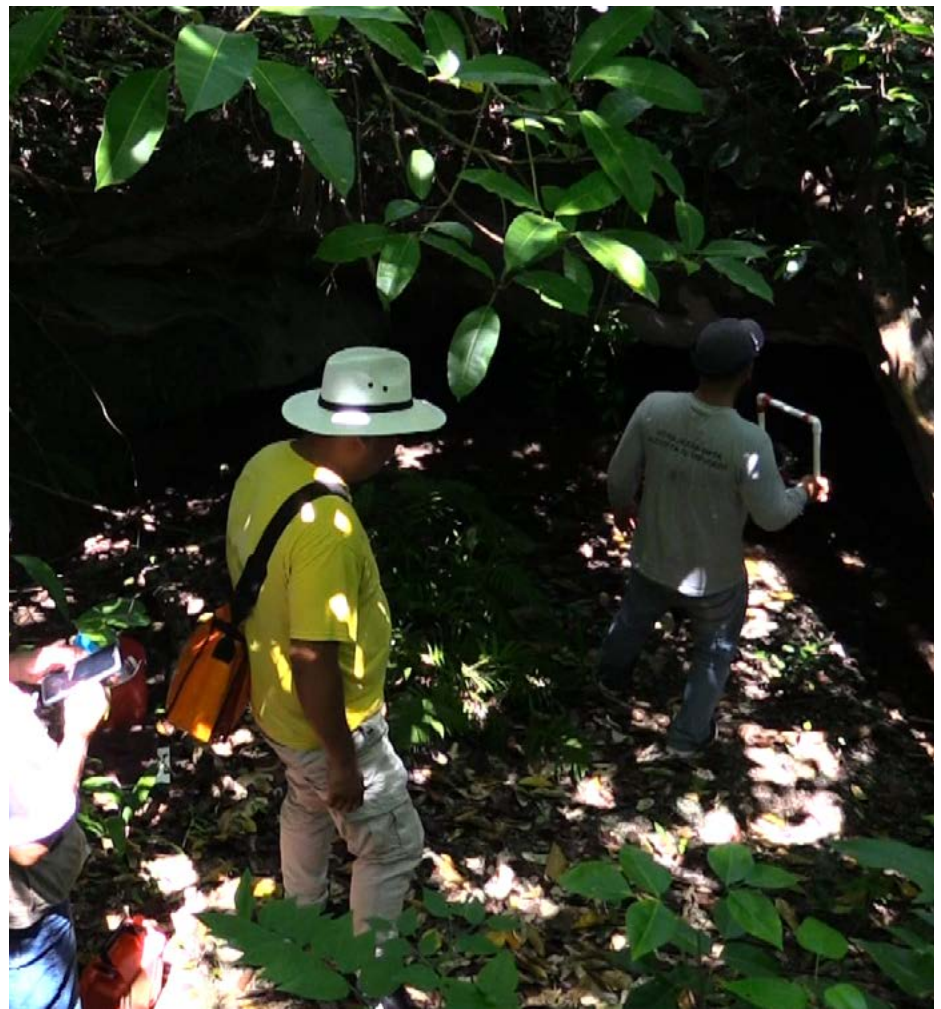
Microplásticos:



Biodiversidad zooplancton:



Biodiversidad de peces:





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20.499171°N, -86.924217° O

RIESGOS AMBIENTALES

- No cumple con el límite sugerido de fosfatos para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).
- Excede los límites máximos permisibles de coliformes fecales y *Escherichia coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes kársticos.
- Las concentraciones de indicadores virales indican una baja probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y bajo riesgo a la exposición humana.
- Presencia de los metales bario, litio y zinc en sedimentos que pueden quedar disponibles al ambiente.
- Presencia de peces exóticos invasores *Xiphophorus* sp. (de acuario, genéricamente llamados *platy*).

ACCIONES SUGERIDAS

- Campaña para evitar el fecalismo al aire libre.
- Retomar acciones de saneamiento en el exterior.
- Remoción de escombros.
- Talleres y actividades de educación ambiental y educación hídrica.
- Aplicación estricta del marco legal sobre residuos líquidos y sólidos.

OBSERVACIONES

- Aceptable en la categoría de indicadores fecales virales.
- Cenote con menor registro de microplásticos (1.25 partículas por litro de agua).
- En fechas recientes se ha observado gran cantidad de escombros, el cual fue retirado.
- No es apto para buceo. Se desconoce si presenta desarrollo vertical y horizontal.



Acciones del Gobierno municipal de Cozumel

Dentro de las facultades que competen al Ayuntamiento de Cozumel sobre el cuidado del recurso hídrico, las siguientes actividades se han llevado a cabo desde el inicio de la administración 2021-2024:

1. Educación ambiental.

Programa permanente de talleres sobre el cuidado del agua en escuelas. Se cuenta con más de 50 talleres sobre educación hídrica.

2. Trabajo de campo con la niñez y la juventud.

Se cuenta con un programa permanente con la niñez y juventud, llamado *Vigías del Agua*, integrado por 30 niños y niñas que están siendo formados para ser replicadores sobre el tema hídrico en casas y escuelas, informando a la comunidad de los riesgos de la contaminación de nuestro acuífero.

3. Marco legal en los permisos ambientales.

Aplicación de forma estricta en los controles para otorgar permisos ambientales. Para los residuos sólidos urbanos, se solicita a las empresas realizar un convenio con el Centro de Acopio Municipal (CAMAR) para garantizar la correcta separación y destino final.

4. Consejo de Cuenca de la península de Yucatán.

En el 2022, el Ayuntamiento de Cozumel conforma su Comité de Cuenca de la isla de Cozumel, con el fin de analizar la problemática local, identificar y reconocer prioridades en el cuidado del agua, y generar acciones de mitigación que ayuden en el cuidado del acuífero insular.

5. Campañas de reforestación.

Reforestar genera una mejor recarga al acuífero, de tal forma que se están llevando acciones para regenerar zonas urbanas de la isla en colaboración con escuelas y la sociedad civil.

6. Acciones de recaudación por multas.

Las sanciones económicas impuestas por toda acción que afecta al medio ambiente, se emplean para acciones que ayuden en el cuidado del acuífero insular.

7. Trabajos de coordinación con otras instancias gubernamentales estatales y federales.

Se han llevado a cabo reuniones de trabajo con instancias estatales y federales para llevar a cabo denuncias de infractores que salen de la competencia municipal, con la finalidad de salvaguardar los recursos naturales insulares.

8. Propuestas en foros.

En el 2022, se invitó al subdirector de Ecología a Colombia para presentar el programa y proyecto de cenotes en la mancha urbana de Cozumel, que representa un parteaguas en ciudades con suelos kársticos, ya que poco se ha hecho en otras partes de Latinoamérica, siendo Cozumel un ejemplo de liderazgo sobre este tema. En el Foro Ambiental de la H. XVII Legislatura Constitucional del estado de Quintana Roo, se presentó una propuesta para llevar a cabo una evaluación de la planta de tratamiento de agua residual San Miguelito y sus tuberías en la zona urbana. Esta propuesta fue entregada a la Comisión de Medio Ambiente de la XVII Legislatura, te-

niendo una respuesta inmediata por parte de las autoridades estatales, las cuales se comprometieron a revisar esta planta durante 2023 para su mejoramiento durante esta nueva administración estatal.

9. Campañas en medios de comunicación.

La Comunicación Social de la Administración 2021-2024 se lleva a cabo de forma permanente con campañas en las páginas oficiales y de otros medios electrónicos, pósters y difusión sobre el cuidado del agua, y la importancia del destino final de los compuestos potencialmente contaminantes (como grasas y aceites).

10. Investigación científica.

Se firmó un convenio de colaboración con el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY), para llevar a cabo un estudio y programa de educación ambiental, el cual aborda estudios de calidad de agua, especies exóticas, microplásticos, entre otros, que sentarán las bases para identificar las necesidades de futuros trabajos.

Todas las acciones que se realizan son rigurosas y están contempladas en el marco legal local, el cual nos faculta como Ayuntamiento para llevarlas a cabo, siempre en apego al Plan Municipal de Desarrollo; además de seguir las recomendaciones nacionales e internacionales para un mejor cuidado del medio ambiente.

El objetivo primordial de estos esfuerzos conjuntos es sentar las bases para la población y las futuras administraciones en el tema del cuidado y estudio del agua a nivel local.