

Tarjeta de reporte de cenotes urbanos de Valladolid



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS





Tarjeta de reporte de cenotes urbanos de Valladolid

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

Participantes:

CICY

Gilberto Acosta González
Antonio Almazán Becerril
Jesús Alvarado Flores
José Epigmenio Bautista García
Jose Adán Caballero Vázquez
Eduardo Cejudo Espinosa
Fanny De Gante Ayora
Benjamín Delgado Pech
Cecilia Hernández Zepeda
Rosa María Leal Bautista
Daniela Ortega Camacho
Jorge Carlos Peniche Pérez
Gabriela Rosiles González

Ayuntamiento de Valladolid

Lic. Alfredo Fernández Arceo
Presidente municipal (2021-2024)
Joaquin Asterio Aguilar Chan
Jefe de Departamento de Desarrollo Sustentable
Mariam Mayte Suarez Cime
Coordinación de Verificaciones Ambientales
Juan Carlos Cano Aban
Comisario de Tixhualactún
José Antonio Cutz Medina
Comisario de Kanxoc
Marvin Tuz Xooc
Comisario de Ebtún
Carlos Daniel Pech
Secretario de Dzitnup
Lorenzo Chuc Chan
Comisario de Popolá
Rigoberto Kumul Xuluc
Comisario de Ticuch
José Ismael Canché Balan
Comandancia de Popolá

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 Conahcyt.

Primera edición: septiembre de 2023.

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

Hecho en México.



Contenido

- 5 Mensaje
- 6 Prologo
- 10 Zací
- 13 Cenote X'ja-sil
- 16 Cenote Kanxoc
- 19 Cenote Aktun chen
- 22 Cenote Dzitnup
- 25 Cenote Popolá
- 28 Cenote Ticuch
- 31 Cenote Yalcobá
- 34 Cenote San Lorenzo Ox
- 36 Cenote Zis-Ha
- 39 Recomendaciones
- 40 Acciones del Gobierno municipal de Valladolid

Mensaje

Valladolid, es hoy en día un municipio con gran visibilidad turística y de inversiones, de tal modo, es imperante que existan actores, acciones y herramientas de política pública que coadyuben la correcta gestión de los recursos naturales en el municipio y la región.

La presente *Tarjeta de reporte de cenotes urbanos de Valladolid*, surge a través de la búsqueda de un convenio con el CICY, como una necesidad derivada de un problema público, el acceso al agua de calidad para la población en general y las futuras generaciones, así como conocer y tener un diagnóstico de la calidad del agua en el municipio. Como autoridad local, es una responsabilidad actual la conservación del agua en Valladolid y a futuro, que esta información generada ayude a la mejor toma de decisiones del gobierno y de la población.

Es así como surge este proyecto, se da inicio a las gestiones y se genera esta información, donde somos el único municipio en todo el estado de Yucatán en el que se ha realizado investigación científica sobre los cenotes urbanos y generado un reporte.

A nombre del H. Ayuntamiento de Valladolid, Administración 2021-2024, agradezco al Centro de Investigación Científica de Yucatán, y a su Unidad del Agua, todo el soporte científico y técnico que hizo posible contar con esta herramienta, y al Departamento



de Desarrollo Sustentable del H. Ayuntamiento, por el trabajo de seguimiento y colaboración al mismo. Cabe recalcar que esta información generada, es de vital importancia para la conservación de nuestros recursos naturales.

Alfredo Fernández Arceo
Presidente Municipal.
H. Ayuntamiento de Valladolid 2021-2024



Prologo

¿Quiénes somos?

El Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY), es un Centro Público de Investigación del Sistema Conahcyt (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías) 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 en pro 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.

El CICY cuenta con experiencia en la elaboración de *Tarjetas de reporte* en colaboración con los Gobiernos municipales

de Benito Juárez y Cozumel (Quintana Roo). Implementando acciones como esta, ahora el CICY colabora con la sociedad vallisoletana y yucateca 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 todos los ciudadanos y ciudadanas conozcan y participen en el pensamiento crítico sobre las condiciones socioambientales de la región que habitan.

Queremos que esta *Tarjeta de Reporte* se convierta en una herramienta de apoyo para Gobierno y la sociedad, representando el medio y la oportunidad para conocer, investigar y generar en conjunto las estrategias para la protección de los cenotes urbanos, del recurso hídrico y de la salud humana y ambiental.

¿Qué es la Tarjeta de reporte de cenotes urbanos de Valladolid?

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 Valladolid, Yucatán. Esta *Tarjeta de reporte* contiene la información de los indicadores y resultados obtenidos como parte de nuestras actividades de investigación con incidencia social en el municipio.

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. La menor parte de los cenotes incluidos en este estudio, son lugares de esparcimiento y nado recreativo; sin embargo, una importante cantidad de ellos también han sido usados en algún momento para la

extracción de agua para uso humano. En cualquier caso, esta pudo o puede estar en contacto con residuos sólidos y líquidos de distinta naturaleza, por lo que es altamente probable que haya cambios en sus características, provocando que el agua de la zona ya no esté disponible para ser usada en condiciones seguras para el empleo y consumo humano, la protección de la vida acuática o el contacto recreativo.

Desafortunadamente, las actividades humanas son las que modifican la calidad del agua de manera más notable, algunas de las cuales se logran identificar en este documento.

En la *Tarjeta de reporte* se muestran siete indicadores del estado de condición de cada cenote urbano muestreado, que son los siguientes:

- 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. Indicador fecal bacteriológico.** Es una respuesta básica de gestión del agua para condiciones bacteriológicas que pueden compararse con normativas nacionales e internacionales, y que han servido en las evaluaciones de calidad de agua para indicar el potencial de presencia de patógenos en cuerpos

de agua que pueden afectar la salud humana. En este caso, se evalúan las bacterias coliformes fecales de la especie *Escherichia coli* (*E. coli*), las cuales son importantes de cuantificar, ya que en algunas ocasiones pueden causar enfermedades gastrointestinales.

- 3. Indicador fecal viral.** Este indicador permite monitorear el agua a través del virus del moteado suave del pimiento (PM-MoV, del inglés *Pepper mild mottle virus*), que infecta a plantas de Chile y que, debido a su naturaleza completamente ajena al sistema digestivo humano, se emplea para demostrar la presencia de contaminación fecal humana en el agua. Potencialmente su presencia puede acompañarse de otros virus entéricos que suelen provocar enfermedades en los seres humanos. Este indicador se expresa como el número de copias del genoma, que es una medida estimada de la cantidad de virus que podría haber en un cenote. A mayor número de copias de genoma, mayor probabilidad de correlación con virus patógenos que pueden provocar enfermedades gastrointestinales en los humanos.
- 4. Metales disueltos en agua.** La presencia y la concentración de metales en el agua están reguladas por la normatividad mexicana y dichos límites deben cumplirse. Puesto que el agua de los cenotes evaluados no es de uso y consumo humano, se realizan las comparaciones pertinentes respecto a los límites máximos permisibles en cuerpos de agua que reciben descargas de agua residual tratada (NOM-001-SEMARNAT-2021) y los Criterios Ecológicos de Calidad del



Agua (CE-CCA-001/89), con el fin de evaluar el posible impacto por entrada de agua residual y los límites establecidos para la protección de la vida en agua dulce. Finalmente, a diferencia de otras evaluaciones donde se emplean sedimentos como archivo ambiental de metales pesados, los cenotes urbanos de Valladolid estudiados en esta ocasión no cuentan con fondo accesible para completar la toma de muestra por métodos de muestreo convencional, por lo cual se incluye el parámetro de metales disueltos en agua, el cual está regulado por la normatividad nacional e internacional.

5. Microplásticos (MP). Son pequeñas piezas sólidas de plástico (mezcla de polímeros y aditivos funcionales) que pueden ser de un tamaño inferior a 5 milímetros y se consideran contaminantes emergentes. 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 también 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 del fitoplancton. También conocidas como microalgas, son un conjunto de microorganismos que requieren de la luz del sol y nutrientes en el agua para crecer y reproducirse.

Su función en el planeta es fundamental e indispensable, ya que son la base de las redes alimenticias que nutren al mundo acuático. La diversidad del fitoplancton se manifiesta a través de la presencia de diferentes grupos taxonómicos, como las diatomeas, los dinoflagelados, las cianobacterias y otras microalgas. Cada grupo tiene características únicas y desempeñan funciones importantes. El fitoplancton actúa como indicador de la calidad del agua en los sistemas acuáticos.

7. Biodiversidad del 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 mayor disponibilidad de alimento en el ambiente, alta y eficiente transferencia de energía, y una mejor condición del cenote.

Todos los análisis se completaron mediante métodos de prueba validados por el personal de investigación en los laboratorios de la Unidad de Ciencias del Agua del CICY, asegurándose que los datos son precisos y de calidad.

Una vez que se obtienen todos los resultados y se han verificado su calidad, se integran en los siete indicadores mencionados para realizar la evaluación y asignar categorías de estado de condición.

Al final, con estos indicadores categorizados por evaluación y color, se integran las fichas para el **Semáforo del estado de condición**.

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

- Nombre y ubicación geográfica.
- Información general del cenote.
- Mapa de ubicación.
- Semáforo de condición.
- Riesgos ambientales.
- Observaciones.
- Acciones sugeridas.
- Fotografías.

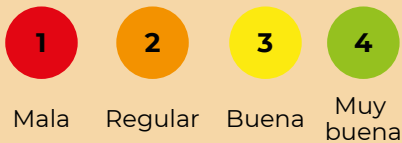
Asimismo, el Semáforo está compuesto por un color que representa la condición identificada, que va del rojo (mala) hasta verde (muy buena), usando como criterios de evaluación los índices internacionales, la normatividad mexicana y los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para la protección de la 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 los criterios de resultados publicados y avalados por la comunidad científica, o con base en la experiencia de las y los investigadores participantes, considerando únicamente los resultados de Valladolid para evitar comparaciones incompatibles.



Cenote Zací

El cenote Zací (*gavilán blanco* en maya) hace referencia al nombre que tenía Valladolid antes de ser fundada en 1543. Se encuentra a 300 m al oriente del centro de la cabecera municipal, en la calle 36 entre 37 y 39, en el barrio de Santa Ana. La tenencia de la tierra es comunal. El cenote se encuentra en una caverna semiabierta de aproximadamente 40 metros de diámetro y se calcula su profundidad entre 30 y 40 metros. De la parte más alta de la bóveda al espejo del agua hay una distancia aproximada de 20 m. Cuenta con una escalera de piedra para el acceso de bañistas al agua. Tiene vegetación natural e inducida; las especies vegetales reportadas incluyen a la palma de huano (*Sabal* sp.), zapote (*Manilkara zapota*), cedro (*Cedrela odorata*), álamo (*Ficus* sp.) y plantas ornamentales. Se ha reportado la presencia de bagre (*Rhamdia guatemalensis*) y especies exóticas invasoras como la paloma doméstica. En este cenote se han realizado dos acciones de saneamiento en el periodo del 2022 y 2023, con retiro de electrónicos pequeños principalmente.



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicador fecal bacteriológico:



Indicador fecal viral:



Metales disueltos en agua:



Microplásticos (MP):



Biodiversidad fitoplancton:



Biodiversidad zooplancton:





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20° 41' 29" N, 88° 11' 49" O

RIESGOS AMBIENTALES

- Excede los límites máximos permisibles (valor instantáneo) de *E. 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 la salud.
- Presencia disuelta de los metales zinc y vanadio.
- No cumple con el límite sugerido de nitrógeno amoniacal, fosfatos y bario, para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).

OBSERVACIONES

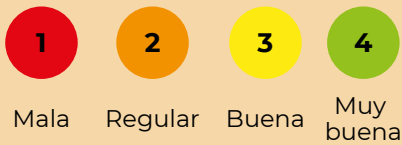
- De acuerdo con el índice TRIX, el valor de abundancia de las células de fitoplancton y la dominancia de las cianobacterias, el cenote está en estado eutrófico.
- Se observaron las especies de peces *Rhamdia guatemalensis* (bagre), *Mayaheros urophthalmus* (mojarra) y *Gambusia yucatanana* (pez mosquito). Este último es una especie protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2010.
- Ningún metal disuelto sobrepasa los límites máximos permisibles, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- La mayor cantidad de microplásticos identificados fueron fibras transparentes.

ACCIONES SUGERIDAS

- La fuente principal de los indicadores bacterianos y virales fecales, procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Por ende, se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.



Cenote X'ja-sil



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicador fecal bacteriológico:



Indicador fecal viral:



Metales disueltos en agua:



Microplásticos (MP):



Biodiversidad fitoplancton:



Biodiversidad zooplancton:



El cenote se encuentra en la comisaría de Tixhualactún, a 6 km de la cabecera municipal de Valladolid. La tenencia de la tierra es comunal. El cenote está localizado en el centro de la población. Tiene una pequeña barda de 60 cm a modo de protección perimetral. Alrededor se han reportado aves de corral pecoreando y ganado porcino pasciendo. Este cenote fue empleado como pozo de extracción entre 1998 y 2007 (actualmente en desuso); durante ese tiempo, nunca recibió algún tipo de intervención o limpieza. Recientemente, durante 2022, se realizaron actividades de saneamiento. En el cenote X'ja-sil se ha realizado una acción de saneamiento durante el 2022.





Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20° 38' 38" N, 88° 8' 40" O

RIESGOS AMBIENTALES

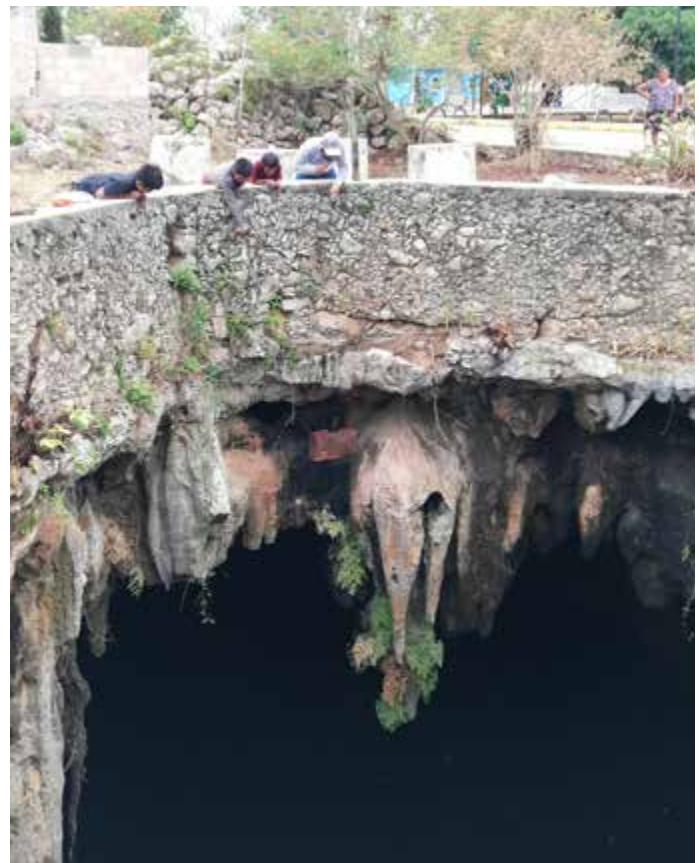
- Excede los límites máximos permisibles (valor instantáneo) de *E. coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- Elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 1000 copias de genoma), lo que aumenta la probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana con afectación a la salud.
- Presencia disuelta de los metales zinc y vanadio.
- No cumple con el límite sugerido de nitrógeno amoniacal, fosfatos y bario, para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).

OBSERVACIONES

- De acuerdo con el índice TRIX y el valor de abundancia de las células de fitoplancton dominado por diatomeas, el cenote está en estado mesotrófico.
- Debido a las condiciones de acceso, no se pudo coleccionar ni observar peces.
- Ningún metal disuelto sobrepasa los límites máximos permisibles, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- La mayor cantidad de microplásticos identificados fueron fibras azules.

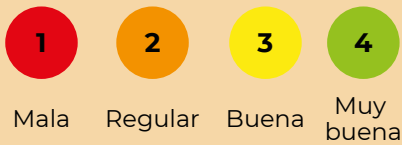
ACCIONES SUGERIDAS

- La fuente principal de indicadores bacterianos y virales fecales, procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Por ende, se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.



Cenote Kanxoc

El cenote Kanxoc se encuentra en la comisaría del mismo nombre, a 12 km de la cabecera municipal de Valladolid. La tenencia de la tierra es comunal. Tiene un bardeado perimetral a modo de protección. De acuerdo con el censo de 1998 de la entonces Secretaría de Ecología del Estado de Yucatán (Secol), actualmente Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS), este cenote sirvió como sitio de abastecimiento de agua para uso y consumo humano. Se han reportado pastos de diversos tipos y los árboles *piich* (*Enterolobium cyclocarpum*), cedro (*Cedrela odorata*), ceiba (*Ceiba* sp.) y ciruela (*Spondias* sp.). Es posible observar aves de corral pecoreando y ganado porcino pasciendo alrededor del cenote. Una parte de la comunidad de Kanxoc resguarda memoria religiosa en torno al cenote; actualmente, se pretende recuperar la importancia cultural y natural de dicho espacio.



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicador fecal bacteriológico:



Indicador fecal viral:



Metales disueltos en agua:



Microplásticos (MP):

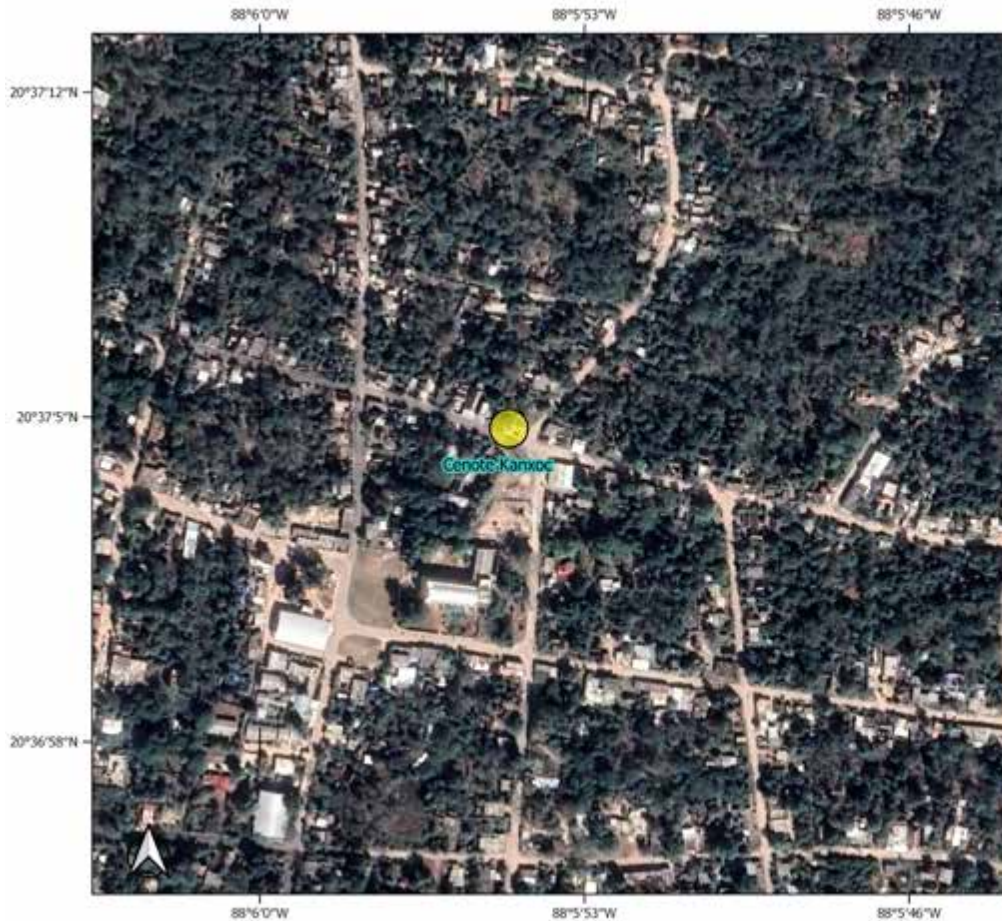


Biodiversidad fitoplancton:



Biodiversidad zooplancton:





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20° 37' 05" N, 88° 05' 54" O

Riesgos ambientales

- Excede los límites máximos permisibles (valor instantáneo) de *E. coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- Muy elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 10 000 copias de genoma), lo que representa alta probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana con afectación a la salud.
- Presencia disuelta de los metales manganeso, zinc y vanadio.
- No cumple con el límite sugerido de nitrógeno amoniacal, fosfatos y bario, para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).

Observaciones

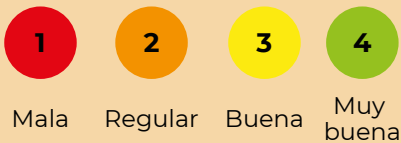
- El fitoplancton del cenote está dominado por diatomeas.
- Debido a las condiciones de acceso, no se pudo coleccionar ni observar peces.
- Ningún metal disuelto sobrepasa los límites máximos permisibles, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- Fue el cenote con menor cantidad de microplásticos, los cuales fueron fibras azules y transparentes.

Acciones sugeridas

- La fuente principal de los indicadores bacterianos y virales fecales, procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Por ende, se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.



Cenote Aktun chen



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicador fecal bacteriológico:



Indicador fecal viral:



Metales disueltos en agua:



Microplásticos (MP):



Biodiversidad fitoplancton:



Biodiversidad zooplancton:



El cenote se encuentra en la comisaría de Ebtún, en la parte posterior del Centro de Readaptación Social (Cereso), a 5 km de la cabecera municipal de Valladolid. Se accede mediante una brecha de 150 m. La tenencia de la tierra es comunal. El cenote se encuentra en una zona con vegetación dentro de una caverna, cuya entrada tiene dimensiones de 0.8 por 1.5 m con elevados sedimentos (azolvado). La vegetación reportada incluye al ramón (*Brosimum ali-castrum*), *chakaj* (*Bursera simaruba*), *piich* (*Enterolobium cyclocarpum*) y helechos. Se ha reportado abundante cantidad de golondrinas y murciélagos que al parecer habitan dentro de esta caverna. El cenote no se usa para recreación, pero se han registrado actividades de investigación.





Centro de Investigación Científica
de Yucatán A.C.



UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20° 39' 59" N, 88° 15' 26" O

Riesgos ambientales

- No excede los límites máximos permisibles (valor instantáneo) de *E. coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos; su valor se ajusta al promedio diario sugerido.
- 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 la salud.
- Presencia disuelta de los metales manganeso y zinc.

- No cumple con el límite sugerido de nitrógeno amoniacal, fosfatos y bario, para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).

Observaciones

- De acuerdo con el índice TRIX, el valor de abundancia de las células de fitoplancton y la dominancia de las clorofíceas, el cenote está en estado eutrófico tendiendo a hipereutrófico.
- Debido a las condiciones de acceso, no se pudo colectar ni observar peces.

Cenote Aktun chen

- Ningún metal disuelto sobrepasa los límites máximos permisibles, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- La mayor cantidad de microplásticos identificados fueron fibras transparentes.
- La presencia de residuos sólidos se relaciona con el arrastre por efecto de precipitación pluvial y escorrentía superficial.

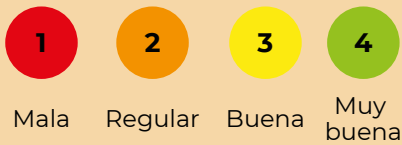
Acciones sugeridas

- La fuente principal de los indicadores bacterianos y virales fecales, procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Por ende, se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.





Cenote Dzitnup



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicador fecal bacteriológico:



Indicador fecal viral:



Metales disueltos en agua:



Microplásticos (MP):



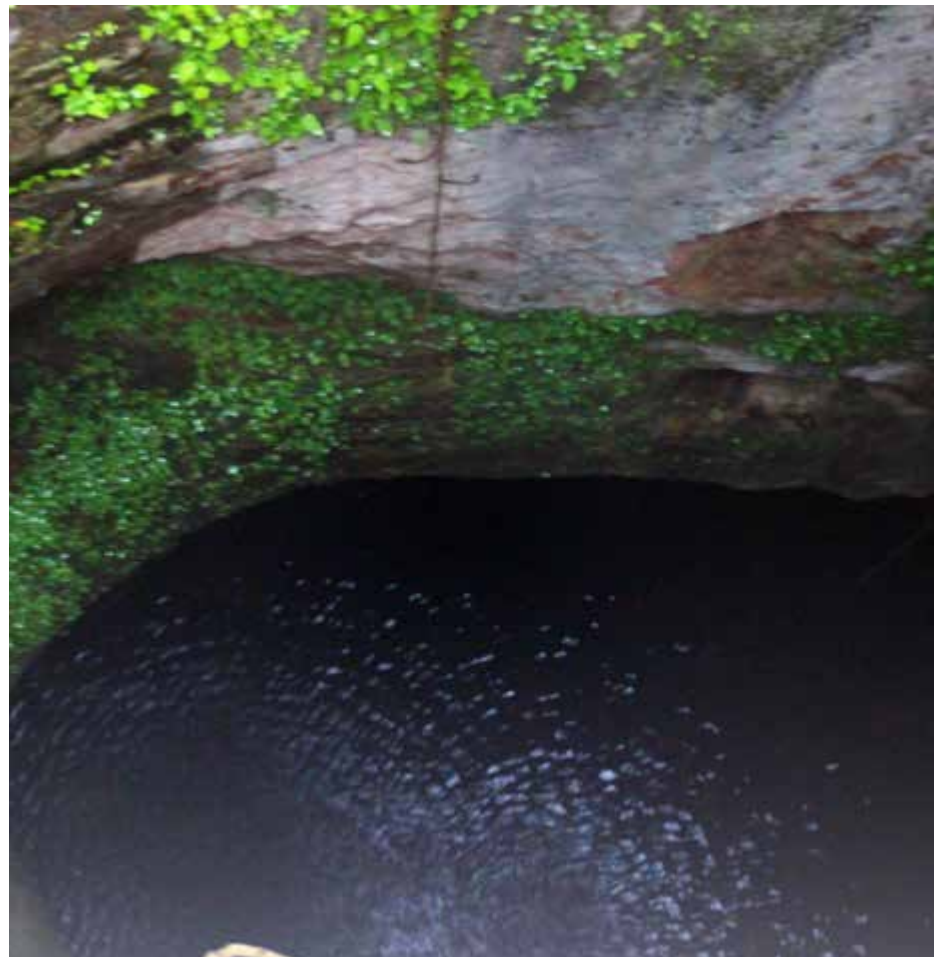
Biodiversidad fitoplancton:



Biodiversidad zooplancton:



El cenote se encuentra en el centro de la comisaría de Dzitnup, a 6 km de la cabecera municipal de Valladolid. Es un cenote cerrado, usado en la década de los noventa como pozo de abastecimiento; es profundo y en la bóveda tiene una boca con barda de aproximadamente 80 cm de altura. La tenencia de la tierra es comunal. Se han reportado acciones de exploración. Es objeto de supervisión por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) debido a su proximidad con registros eléctricos.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20° 38' 49" N, 88° 14' 39" O

Riesgos ambientales

- Excede los límites máximos permisibles (valor instantáneo) de *E. coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- Muy elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 100 000 copias de genoma), lo que representa una alta probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana con afectación a la salud.
- Presencia disuelta de los metales aluminio, manganeso y zinc.

- No cumple con el límite sugerido de nitrógeno amoniacal, fosfatos y bario, para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89)

Observaciones

- Las especies de fitoplancton presentes son principalmente diatomeas epilíticas (es decir, que crecen sobre las rocas) que están asociadas a una buena calidad del agua.
- Debido a las condiciones de acceso, no se pudo coleccionar ni observar peces.

- Ningún metal disuelto sobrepasa los límites máximos permisibles, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- La mayor cantidad de microplásticos identificados fueron fibras transparentes.
- Se realizaron acciones de saneamiento en el año 2021.

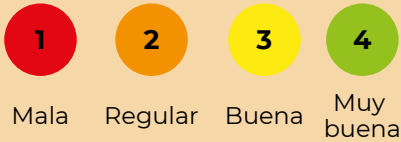
Acciones sugeridas

- La fuente principal de los indicadores bacterianos y virales fecales, procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Por ende, se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.





Cenote Popolá



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicador fecal bacteriológico:



Indicador fecal viral:



Metales disueltos en agua:



Microplásticos (MP):



Biodiversidad fitoplancton:



Biodiversidad zooplancton:



El cenote se localiza en el centro de la comisaría de Popolá, a 4 km de la cabecera municipal de Valladolid. Es cerrado y con boca bardeada que fue usado como pozo. La tenencia de la tierra es comunal. Es uno de los 13 pozos proveedores de agua que tiene la comunidad y que se usaba antes del abasto por la red municipal. Cuenta con un brocal que fue impulsado con caballo; se presume de los más antiguos de la zona. No ha tenido acciones de saneamiento.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20° 43' 56." N, 88° 13' 59" O

Riesgos ambientales

- Excede los límites máximos permisibles (valor instantáneo) de *E. coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos. Se registró el mayor número de unidades formadoras de colonia (>2000 UFC/100 mL).
- Muy elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 100 000 copias de genoma), lo que representa una alta probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana con afectación la su salud.
- Presencia disuelta de los metales aluminio, manganeso y zinc.
- No cumple con el límite sugerido de nitrógeno amoniacal, fosfatos, bario y oxígeno disuelto, para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).

Observaciones

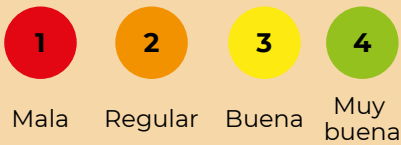
- Las especies de fitoplancton presentes son principalmente diatomeas epilíticas (establecidas sobre las rocas) que están asociadas a una buena calidad del agua.
- Debido a las condiciones de acceso, no se pudo coleccionar ni observar peces.
- Ningún metal disuelto sobrepasa los límites máximos permisibles, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- La mayor cantidad de microplásticos identificados fueron fibras azules.

Acciones sugeridas

- La fuente principal de los indicadores bacterianos y virales fecales, procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Por ende, se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.



Cenote Ticuch



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicador fecal bacteriológico:



Indicador fecal viral:



Metales disueltos en agua:



Microplásticos (MP):



Biodiversidad fitoplancton:

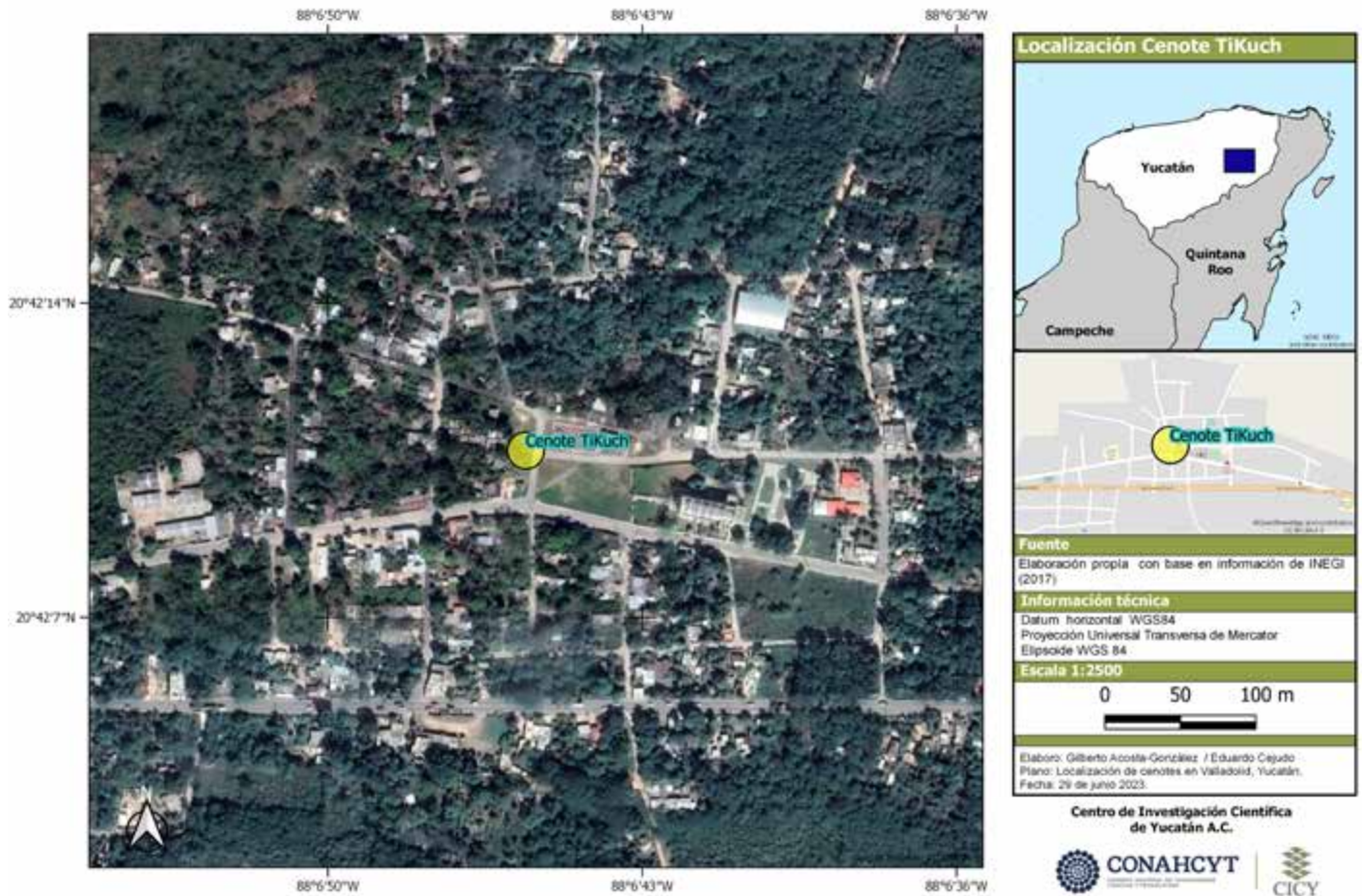


Biodiversidad zooplancton:



El cenote se encuentra a 7 km de Valladolid, en el centro de la comisaría de Ticuch. Es de tipo noria y cerrado con dos bocas bardeadas; fue usado como pozo. La tenencia de la tierra es comunal. La vegetación está dominada por pastos y helechos. Se han reportado golondrinas alrededor y dentro del mismo. En el cenote Ticuch se han realizado cuatro acciones de saneamiento en el periodo del 2022 y 2023.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20° 42' 10" N, 86° 6' 46" O

Riesgos ambientales

- Excede los límites máximos permisibles (valor instantáneo) de *E. coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- Muy elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 10 000 copias de genoma), lo que representa una alta probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana con afectación a la salud.
- Presencia disuelta de los metales aluminio y zinc.
- No cumple con el límite sugerido de nitrógeno amoniacal, fosfatos y bario, para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).

Observaciones

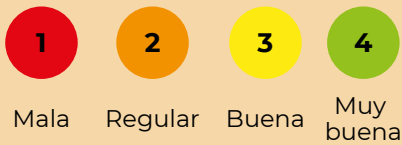
- Las especies de fitoplancton presentes son principalmente diatomeas.
- Debido a las condiciones de acceso, no se pudo coleccionar ni observar peces.
- Ningún metal disuelto sobrepasa los límites máximos permisibles, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- La mayor cantidad de microplásticos identificados fueron fibras transparentes.
- El cenote ha recibido tres intervenciones de saneamiento.

Acciones sugeridas

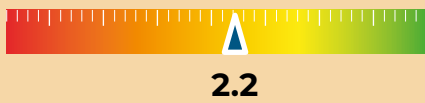
- La fuente principal de los indicadores bacterianos y virales fecales, procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Por ende, se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.



Cenote Yalcobá



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicador fecal bacteriológico:



Indicador fecal viral:



Metales disueltos en agua:



Microplásticos (MP):



Biodiversidad fitoplancton:

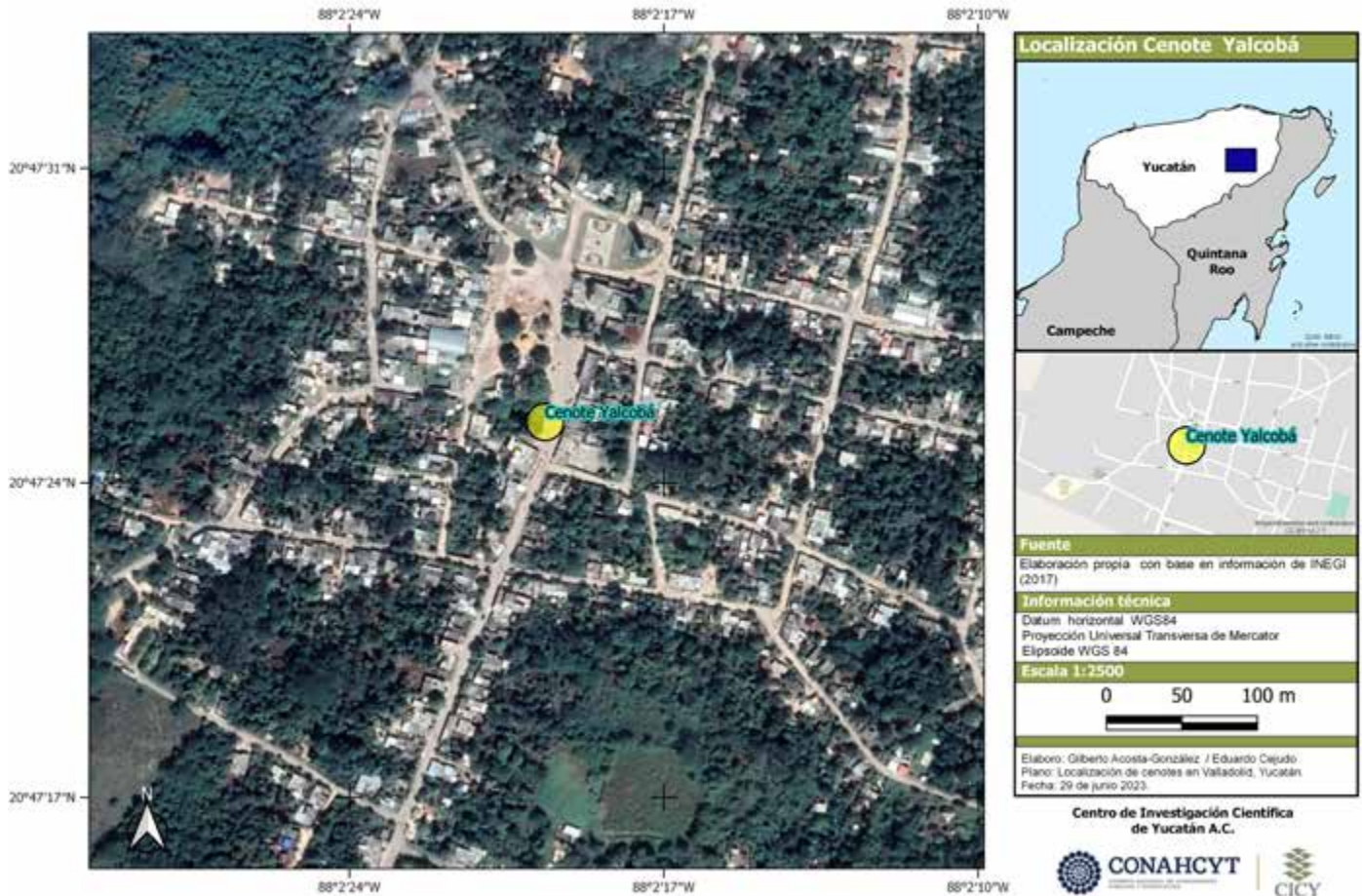


Biodiversidad zooplancton:



El cenote se encuentra a 20 km de la cabecera municipal de Valladolid, en la comisaría de Yalcobá. La tenencia de la tierra es comunal. Se usó como abastecimiento de agua para la población aproximadamente en la década de los noventa. Se ha mantenido cercado por 15 años. Tamaño aproximado de 40 m de largo por 40 m de ancho, completamente abierto en caída libre. La vegetación reportada incluye al cedro (*Cedrela odorata*), roble o *mak'ulis* (*Tabebuia rosea*), ceiba (*Ceiba* sp.) y al flamboyán (*Delonix regia*), especie exótica introducida. La tabla de agua es profunda y tiene vegetación y anidamiento de abejas y aves en las paredes del cenote. Se ha reportado la presencia de peces (mojarras). Fue saneado en 2019 por la Asociación Promotora del Ambiente Sustentable A. C. y se retiró media tonelada de residuos.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20° 47´ 25" N, 88° 02´ 20" O

Riesgos ambientales

- Excede los límites máximos permisibles (valor instantáneo) de *E. coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- Cenote con el más elevado número de indicadores fecales virales (>300,000 UFC/100 mL), lo que representa una alta probabilidad de presencia de algún virus de transmisión entérica y el riesgo a la exposición humana con afectación a la salud.
- Presencia disuelta de los metales manganeso y zinc.

- No cumple con el límite sugerido de nitrógeno amoniacal, fosfatos, aluminio y bario, para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).

Observaciones

- El índice TRIX y la dominancia de la cianobacteria filamentosa *Pseudanabaena limnetica*, indican condiciones de eutrofización.
- Debido a las condiciones de acceso, no se pudo coleccionar ni observar peces.

- Ningún metal disuelto sobrepasa los límites máximos permisibles, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- La mayor cantidad de microplásticos identificados fueron fibras azules.
- Este cenote ha tenido dos intervenciones de saneamiento.
- La cerca perimetral se ha perdido en dos ocasiones; por colapso hacia el interior y por vientos huracanados.

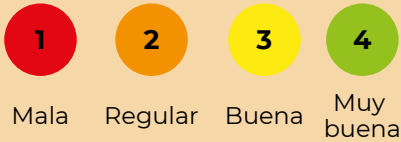
Acciones sugeridas

- La fuente principal de los indicadores bacterianos y virales fecales, procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Por ende, se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.





Cenote San Lorenzo



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicador fecal bacteriológico:



Indicador fecal viral:



Metales disueltos en agua:



Microplásticos (MP):



Biodiversidad fitoplancton:



Biodiversidad zooplancton:



El cenote se encuentra a 5 km del centro de Valladolid. Es abierto y concesionado a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para uso extractivo, por lo cual su acceso es regulado. Cuenta con escaleras y una bomba conectada para la extracción; se desconoce la profundidad a la tabla de agua.

Riesgos ambientales

- No excede los límites máximos permisibles (valor instantáneo) de *E. coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos; su valor se ajusta al promedio diario sugerido.
- Muy elevado número de indicadores fecales virales (mayor a 100 000 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 la salud.
- Presencia disuelta de los metales manganeso y litio.
- No cumple con el límite sugerido de nitrógeno amoniacal, fosfatos, aluminio, bario y zinc, para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).



Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20° 42´ 27" N, 88° 15´ 44" O

Observaciones

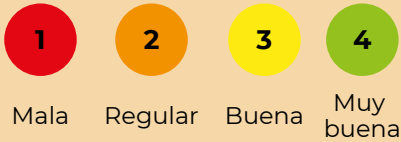
- De acuerdo con el índice TRIX y la dominancia del alga clorofícea *Monoraphidium kamarkovae*, el cuerpo de agua tiende a un estado eutrófico.
- Ningún metal disuelto sobrepasa los límites máximos permisibles, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- Se observaron las especies de peces *Rhamdia guatemalensis* (bagre), *Poecilia reticulata* (guppy) y *Oreochromis mossambicus* (tilapia); estas dos últimas, especies exóticas invasoras.

- La mayor cantidad de microplásticos identificados fueron fibras transparentes.

Acciones sugeridas

- La fuente principal de los indicadores bacterianos y virales fecales, procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Por ende, se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Cenote Zis-Ha



EVALUACIÓN GENERAL:



Estado trófico:



Indicador fecal bacteriológico:



Indicador fecal viral:



Metales disueltos en agua:



Microplásticos (MP):



Biodiversidad fitoplancton:



Biodiversidad zooplancton:



El cenote se encuentra en el centro de la cabecera municipal de Valladolid, dentro del Convento de San Bernardino de Siena. La tenencia de la tierra es privada. El cenote cuenta con una noria que sirvió de abastecimiento de agua. Su tamaño aproximado se estima en 30 m de largo por 30 m de ancho. Se puede acceder al agua mediante descenso en cuerda. Se han reportado murciélagos en el interior y al pez bagre (*Rhamdia guatemalensis*). De su interior se han extraído piezas precolombinas y virreinales y se han reportado otros vestigios arqueológicos por la SEDUMA en 2009.





UBICACIÓN GEOGRÁFICA: 20° 41´ 10" N, 88° 12´ 34" O

Riesgos ambientales

- No excede los límites máximos permisibles (valor instantáneo) de *E. coli*, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos; su valor se ajusta al promedio diario sugerido.
- 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 la salud.
- Presencia disuelta de los metales manganeso, litio y vanadio.
- No cumple con el límite sugerido de nitrógeno amoniacal, fosfatos, bario y zinc para la protección de la vida silvestre de agua dulce (CE-CCA-001/89).

Observaciones

- De acuerdo con la abundancia de algas dominadas por clorofíceas, la diversidad de fitoplancton es regular.
- Debido a las condiciones de acceso, no se pudo coleccionar ni observar peces.
- Ningún metal disuelto sobrepasa los límites máximos permisibles, según la NOM-001-SEMARNAT-2021 para ambientes cársticos.
- La mayor cantidad de microplásticos identificados fueron fragmentos azules.

Acciones sugeridas

- La fuente principal de indicadores bacterianos y virales fecales, procede de las aguas residuales urbanas con excretas humanas o de animales. Por ende, se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.





Recomendaciones

- Creación de un Padrón de Cenotes Recreativos Seguros. Se considera positiva la creación de un padrón de cenotes voluntariamente certificados para dar constancia y certidumbre a las personas usuarias sobre su inocuidad para contacto primario y disminuir riesgos a la salud.
- Crear un registro público de datos de calidad del agua en el que se depositen voluntariamente todos los resultados obtenidos de análisis de agua en cenotes públicos y concesionados para explotación turística.
- Acciones de intervención, limpieza y rehabilitación de espacios verdes de convivencia y proveedores de servicios ecosistémicos.
- Los indicadores fecales fueron los de menor evaluación. Se sugiere verificar el estado de las fosas sépticas, la conexión al drenaje o mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- Dadas las condiciones de los cenotes, que no permitían el uso de artes de colecta para el estudio de peces, solo se pudo coleccionar organismos en dos sitios. No obstante, la presencia de especies exóticas invasoras indica potencial alteración causada por su introducción a los cenotes. Se recomienda realizar un estudio más detallado sobre la diversidad de peces de cenotes en Valladolid.



Acciones del Gobierno municipal de Valladolid

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

- **Educación ambiental.** Se han diseñado e implementado talleres, pláticas y actividades sobre el cuidado del agua en escuelas mediante el programa «Sinergia por la Educación».
- **Trabajo de campo con la niñez y la juventud.** Se han diseñado e implementado actividades de saneamiento ambiental y reforestación con la participación de la niñez y juventud vallisoletana, además de realizar festivales ambientales (como el Festival de las Serpientes 2023) que involucran a estudiantes de instituciones de educación básica, media y superior.
- **Campañas de reforestación.** La forestación y reforestación mantiene y propicia la adecuada recarga de agua hacia el acuífero, de tal forma que se están llevando acciones para regenerar zonas urbanas del municipio, en colaboración con instituciones de educación y la sociedad civil.
- **Saneamiento de cenotes.** En coordinación con la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Yucatán, se han llevado a cabo acciones de saneamiento de cenotes en el municipio de Valladolid y sus comisarías.
- **Tratamiento de aguas residuales.** Se cuenta con la primera planta de tratamiento de aguas residuales a cargo del municipio, en la que se tratan las aguas residuales generadas en el bazar municipal. También se ha realizado la modificación de la reglamentación municipal de obras públicas, con el objetivo de que los desarrollos inmobiliarios cuenten con plantas de tratamiento de aguas residuales.
- **Campañas de acopio de residuos de manejo especial.** Con el fin de evitar la llegada de llantas, pilas y electrónicos al sitio de disposición de residuos sólidos, se han implementado campañas y se han habilitado sitios para la disposición de estos residuos de manejo especial. Valladolid es el único municipio en todo Yucatán donde la regulación de las llantas es un hecho sin precedentes, lográndose recolectar 18 mil llantas al año aproximadamente, dispuestas a cogeneración en las instalaciones de una planta cementera.

- **Marco legal en los permisos ambientales.** Mediante los controles y la aplicación de forma estricta para otorgar permisos ambientales, se ha logrado que las empresas generadoras de residuos sólidos urbanos (RSU) realicen el pago requerido para la correcta disposición final de los residuos en el sitio de disposición final municipal; todo depósito incorrecto de RSU tiene repercusiones legales. De manera similar, la tala y derribo de arbolado debe contar con los dictámenes y permisos correspondientes, así como las medidas de compensación ambiental requeridas. Además, se han revisado y sometido a análisis técnico el total de las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos a ejecutarse en el municipio de Valladolid, con lo cual se asegura la adecuada guía y ejecución de los trabajos con las empresas responsables, para que cumplan cabalmente con las medidas de compensación y mitigación de impactos.
- **Acciones de recaudación por multas.** Las sanciones económicas impuestas por toda acción que afecta al medio ambiente, se emplean en iniciativas que ayuden en el cuidado de los ecosistemas de Valladolid.
- **Trabajos de coordinación con otras instancias gubernamentales estatales.** 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. De igual manera, se trabaja con el Gobierno del Estado de Yucatán para realizar actividades que ayuden con la preservación de nuestros recursos hídricos.

- **Investigación científica.** Se firmó un convenio de colaboración con el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY), para llevar a cabo el estudio de cenotes estratégicos del municipio de Valladolid, el cual aborda estudios de calidad de agua, biodiversidad, microplásticos, entre otros, que sentarán las bases para identificar las necesidades de futuros trabajos de recuperación o protección.
- **Comité Técnico de Aguas Subterráneas de Valladolid, Yucatán.** Actualmente, el Ayuntamiento de Valladolid promueve ante la Conagua y el Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán, la creación de un comité técnico especializado en realizar acciones precisas y dar asesoramiento para la conservación del agua, siendo este el primer ejercicio en su tipo en la región oriente del estado y que se prevé en el futuro abarque no solo Valladolid, sino toda la región para la correcta gestión del agua.