

Estudio preliminar de calidad del agua para uso recreativo en la bahía de Chetumal, Quintana Roo

Ramírez Mayo Ángel Geovanny, Chan Ceh Camilo Gabriel*, Cervantes Cocom Grisel Anahí

Instituto Tecnológico Superior de Valladolid, Dirección Carretera Valladolid-Tizimín Km. 3.5. Tablaje Catastral No 8850, Valladolid Yucatán, C.P. 97780, Valladolid, Yucatán, México.

Fecha de recepción: 28 de noviembre de 2022 - Fecha de aceptación: 19 de mayo de 2023

Resumen

El presente es un estudio preliminar realizado en 2022, para determinar la calidad del agua para uso recreativo en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo. Para tal motivo fueron seleccionados ocho puntos de muestreo, distribuidos en dos campañas (4 en mayo a 350 metros de la orilla y 4 en junio sobre la orilla) para el análisis de coliformes totales y fecales. El análisis microbiológico se realizó mediante el método de fermentación en tubos múltiples con la técnica del número más probable (NMP). El resultado del análisis de coliformes totales demostró que el 75% de las muestras rebasan el límite máximo permisible (LMP) de 2 NMP/100 ml que establece la NOM-127-SSA1-1994. El punto con mayor concentración fue el M2-BC-1 con >2400 NMP/100 ml. En el primer muestreo, realizado a 350 m de la costa, sólo el 50% de las muestras rebasaron el LMP mientras que, en el segundo muestreo, en la orilla de la bahía, el 100% de las muestras se encontraron por encima del límite máximo permisible. Los puntos muestreados en ambas campañas se encuentran dentro del LMP para coliformes fecales establecido en los CE-CCA-001/89 que es de 200 NMP/100 ml ya que solo el M2-BC-3 tubo presencia de coliformes fecales con 9 NMP/100 ml.

Palabras clave: contaminación, bacteria, coliforme, calidad de agua, descarga residual.

Preliminary study of water quality for recreational use in the bay of Chetumal, Quintana Roo

Abstract

This preliminary study, was carried out in 2022 in order to determine the quality of the water for recreational use of Chetumal Bay, eight sampling points was selected, distributed in two campaigns (4 in May at 350 meters from the shore and 4 in June on the shore) for the analysis of total and fecal coliforms. The microbiological analysis was carried out using the multiple tube fermentation method with the Most Probable Number (NMP) technique. The result of the analysis of total coliforms showed that 75% of the samples exceed the maximum permissible limit LMP of 2

*camilo.cc@valladolid.tecnm.mx

NMP/100 ml established by NOM-127-SSA1-1994, the point with the highest concentration was M2-BC-1 with >2400 NMP/100 ml, in the first sampling only 50% of the samples exceeded the LMP while in the second sampling 100% of the samples were found to be above the maximum permissible limit. The points sampled in both campaigns are within the LMP for fecal coliforms established in CE-CCA-001/89 which is 200 NMP/100 ml since only M2-BC-3 had the presence of fecal coliforms with 9 NMP/100 ml.

Keywords: contamination, bacteria, coliform, water quality, residual discharge

Introducción

El agua, vital líquido para la existencia de los ecosistemas, se ve afectada por diversos factores como el crecimiento poblacional y urbano no planificado, además de la escasez de infraestructura requerida, como drenaje sanitario. La urbanización y otras actividades de uso de la tierra en regiones costeras del caribe como Chetumal, impactan la calidad del agua (Hernández et al. 2015). Las descargas pluviales recogen a su paso materia orgánica de toda la ciudad, ocasionando que la carga contaminante sea mayor en las zonas cercanas a la línea de costa. Por otro lado, algunos ríos, como el Hondo, constituyen un factor importante en la contaminación de la bahía, debido a que en su caudal pueden recoger contaminantes como los generados por las actividades agrícolas (Romero et al. 2016). Un ejemplo ocurre en Othón P. Blanco, donde los ingenios azucareros asentados en la ribera, vierten sus desechos (fertilizantes, plaguicidas y materia orgánica) directamente al río Hondo que desemboca en la bahía de Chetumal (Díaz et al. 2006). De igual forma, en la bahía de Chetumal se han detectado descargas de aguas residuales urbanas con vertidos clandestinos (Uc y Delgado 2015) que incrementan el número de bacterias como coliformes fecales y *Escherichia coli*. La descarga de estos residuos eleva la concentración de sólidos disueltos totales SDT y conductividad eléctrica CE (Sánchez et al. 2015).

Los criterios de calidad microbiológica de aguas costeras para uso recreativo, se basan en estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en los cuales se

definen indicadores asociados con un aumento en la frecuencia de enfermedades gastrointestinales, dermatitis, conjuntivitis y enfermedades respiratorias febriles agudas. En el monitoreo mensual del programa federal, “playa limpia”, la calidad del agua para uso recreativo se determina tomando como indicador el análisis de estreptococos o enterococos fecales (SSA-COFEPRIS 2015). Las playas y cuerpos de agua dulce se consideran aptas para uso recreativo si los enterococos son menores a 200 NMP/100 ml. El agua contaminada con presencia de coliformes fecales termo tolerantes y en específico *Escherichia coli*, está sumamente relacionada con la transmisión y origen de enfermedades gastrointestinales como la diarrea, el cólera, la disentería, la hepatitis y la poliomielitis (World Health Organization, 2019). Este proyecto tuvo como objetivo determinar de manera preliminar la calidad bacteriológica del agua con posible uso recreativo de contacto primario, como natación, buceo y de protección de vida acuática, utilizando bacterias coliformes totales y fecales como indicadores microbiológicos de contaminación. El estudio se llevó a cabo en la Bahía de Chetumal (17°52'–18°50'N, 87°50'–88°25'O), un estuario poco profundo de 2.560 km², con agua salada proveniente del mar caribe y varias entradas de agua dulce, incluyendo el río Hondo. La zona costera de la bahía de Chetumal tiene una superficie principalmente plana y poco profunda (3.2 m en promedio) marcado con muchos pequeños sumideros llamados “pozas”. La estación seca en la región se extiende de febrero a junio. La temporada de

lluvias es de julio a octubre, generalmente con una sequía moderada en agosto a mediados de verano. Las precipitaciones luego disminuyen de noviembre a enero. (Castelblanco et al. 2012).

Metodología

La Bahía de Chetumal fue declarada área natural protegida el 24 de octubre de 1996 y es considerada santuario del Manatí. (Castelblanco et al. 2012) de ahí la importancia de su monitoreo periódico. Para determinar la calidad bacteriológica preliminar del agua para uso recreativo, se hicieron dos campañas de muestreo (Figura 1). La primera se realizó a principios de mayo, en época de secas, a 350 metros de la orilla, en la cual fueron recolectadas cuatro muestras. La segunda

campana se realizó a finales de junio, época de lluvias, se recolectaron cuatro muestras de cuatro diferentes puntos de la orilla de la bahía. Los muestreos fueron en diferentes épocas del año con el propósito de evaluar la concentración de bacterias a diferentes distancias de las descargas de aguas residuales y pluviales y conocer su comportamiento. Las muestras (2L) fueron tomadas superficialmente con una cubeta previamente lavada y enjuagada con agua del punto de muestreo. La mitad de la muestra se utilizó para los análisis microbiológicos y el resto para los análisis de sólidos totales. Con un sistema de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés) se tomaron las coordenadas de los puntos de muestreo, que se nombraron con una clave para identificarlas (Figura 2).



Figura 1: Ubicación del área de estudio

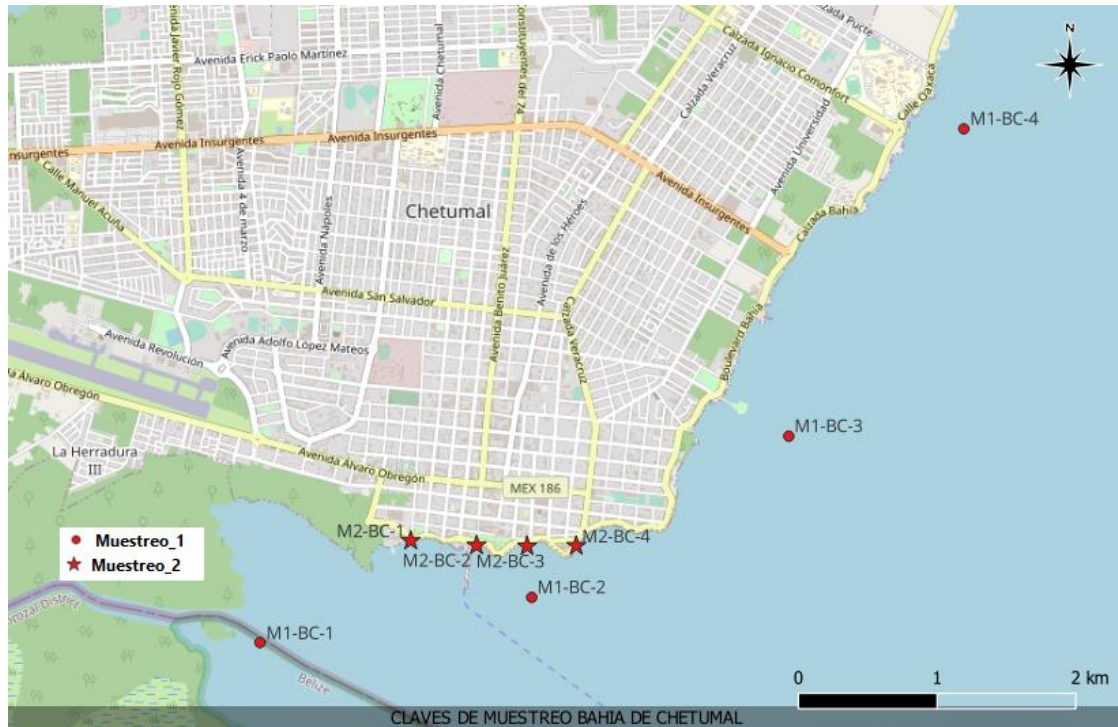


Figura 1: Clave de los puntos de muestreo.

Los análisis para la caracterización microbiológica, se realizaron siguiendo las técnicas descritas en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015 y la 9221 (APHA-AWWA-WEF, 1992) que se refieren a técnicas estandarizadas de fermentación en tubo múltiple para el cálculo del NMP de coliformes totales, con adaptaciones para cubrir cuatro etapas.

La metodología implementada consistió en el cultivo de organismos coliformes totales, coliformes fecales termo tolerantes y *Escherichia coli*, en medios líquidos, contenidos en tubos múltiples. La técnica estuvo conformada por las pruebas, presuntiva, confirmativa, completada y final.

Para la prueba presuntiva, se manejaron tres series de tres tubos con caldo lactosado (para un 95 % de límite de confianza). Cada serie fue inoculada con alícuotas de 10 ml, tres de 1 ml y tres de 0.1 ml, respectivamente. El caldo lactosado fue dispensado en tubos de ensayo

con campana Durham y esterilizados (15 minutos a 121 °C y a 15 lb de presión). Los tubos fueron inoculados con la muestra de agua proveniente de cada uno de los puntos de muestreo e incubados a 35 ± 2 °C durante 24 ± 2 horas. La presencia de gas en la campana Durham significó una presunta reacción positiva, los tubos con este tipo de reacción fueron empleados en la fase confirmativa. Para esta etapa, la siembra se llevó a cabo en medio de cultivo BRILA (Brilliant Green Lactose). Los tubos positivos obtenidos de la prueba confirmativa pasaron a la prueba completada, en donde las muestras fueron sembradas en caldo lauril sulfato y agar nutritivo (medio sólido). Pasadas las 24 h de cultivo, las muestras con resultado positivo, fueron analizadas por microscopía a través de la tinción de Gram.

Se consideró como resultado positivo a los medios de cultivo con presencia de gas, para el caso del medio lauril; para el agar nutritivo solo

se tomaron como positivos las muestras que presentaron crecimiento y cuya observación al microscopio denotó la presencia de bacilos cortos Gram (-), relacionados con la existencia de *Escherichia coli*.

Para corroborar la presencia de coliformes fecales (termo tolerantes) y *Escherichia coli* en las muestras, se realizó la prueba final utilizando el medio de cultivo EC. El número de muestras analizadas correspondió a la cantidad de tubos positivos obtenidos de la prueba confirmativa después de 48 horas de incubación. El crecimiento en los tubos se monitoreo a las 24, 48 y 72 horas.

Resultados

El resultado obtenido en cada análisis implementado, permitió la realización de estadísticos descriptivos comparados con la

normatividad aplicable para la evaluación de la calidad microbiológica del agua. En la Tabla 1, se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos y la estadística descriptiva de los dos muestreos. La variación de parámetros en el estuario se relaciona con la distancia a la que fueron tomadas las muestras. La variación de la temperatura promedio entre los dos muestreos fue 1°C, por efecto de la radiación solar. El pH promedio de la bahía (6.8 - 7.8) va de neutro a ligeramente básico. Los sólidos disueltos totales duplican su valor de 1063mg/l cercano a la orilla, a 2058 mg/l a 350 m de la orilla, por el efecto dilutivo del agua fluvial del río Hondo y del agua proveniente del mar Caribe. La conductividad eléctrica de la bahía es moderadamente salina, y fue incrementando de 2154 $\mu\text{S/cm}$ a 4105 $\mu\text{S/cm}$ conforme se aleja de la orilla.

Tabla 1. Resultados de parámetros *in situ*.

Muestreo	M-BC-1	M-BC-2	M-BC-3	M-BC-4	Promedio	Desviación Estándar
Temperatura (°C)						
1	28.3	28.4	28.3	28.6	28.4	0.1
2	27.5	28.6	26.8	26.8	27.4	0.9
pH						
1	7.5	7.8	8.2	7.5	7.8	0.3
2	6.8	6.7	7.0	6.6	6.8	0.2
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)						
1	1980	2060	2170	2020	2057.5	81.8
2	1035	1060	1110	1050	1063.8	32.5
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)						
1	3960	4120	4330	4010	4105	164.2
2	2150	2120	2215	2130	2153.8	42.7

Para los resultados del NMP, se emplearon las tablas de la NMX-AA-042-SCFI-2015, para determinar los intervalos de confianza, con sus correspondientes límites inferior y superior, considerando un nivel de confianza del 95%. De la Tabla 2, se destaca que el punto de muestreo M1-BC-1, obtuvo la mayor concentración de coliformes totales con un valor de 75 NMP/100 ml, mientras que los

puntos más bajos fueron el M1-BC-3 y M1-BC-4. El segundo muestreo el punto con una alta concentración de coliformes totales fue el M2-BC-1 con un valor >2400 NMP/100 ml. De la Tabla 3, de coliformes fecales, sólo el punto de muestreo M2-BC-3 evidenció valores superiores a 3 NMP/100ml con límite inferior 4 y límite superior 120.

Tabla 2. Número más probable de coliformes totales por punto de muestreo

	Punto de muestreo	NMP/100 ML	Límite inferior	Límite superior
Primer muestreo	M1-BC-1	75	14	230
	M1-BC-2	4	<0.5	20
	M1-BC-3	<3	-	-
	M1-BC-4	<3	-	-
Segundo muestreo	M2-BC-1	>2400	-	-
	M2-BC-2	460	71	2400
	M2-BC-3	1100	150	4800
	M2-BC-4	44	-	-

Tabla 3. Número más probable de coliformes fecales por punto de muestreo

	Punto de muestreo	NMP/100 ml	Límite inferior	Límite superior
Primer muestreo	M1-BC-1	<3	-	-
	M1-BC-2	<3	-	-
	M1-BC-3	<3	-	-
	M1-BC-4	<3	-	-
Segundo muestreo	M2-BC-1	<3	-	-
	M2-BC-2	<3	-	-
	M2-BC-3	9	4	120
	M2-BC-4	<3	-	-

Discusión

Al comparar los resultados con la normatividad presentada en la Tabla 4, se obtuvo que el 50% de los puntos del primer muestreo y el 100% del segundo, superaron el límite máximo permisible de coliformes totales para uso y consumo humano establecido en la NOM-127-

SSA1-1994 (SSA, 2023). Los resultados obtenidos superan además los criterios ecológicos de calidad del agua para uso recreativo que maneja coliformes totales < 1000, *Escherichia coli* ausente, además de SDT 500 mg/l y ST de 1000 mg/l como límite máximo (C-CCA-001/89). También, es posible

comparar los resultados con el Proyecto de Norma 001-SEMARNAT-2017, que establece los límites permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación en la Tabla 5 se muestran los valores límite para estuarios

como la bahía de Chetumal, que al comparar con la Tabla 2 es posible detectar que del segundo muestreo M2-BC-1 y M2-BC-3, sitios cercanos a zonas de descargas (Carrión et al., 2013), se sobrepasaron incluso los límites para descarga de aguas residuales.

Tabla 4. Límites máximos permisibles Norma Oficial Mexicana 127-SSA1

	Parámetro	LMP	NOM
Microbiológicos	Coliformes Totales	2 NMP/100	NOM-127-SSA1-1994
	Coliformes Fecales	No detectable	NOM-127-SSA1-1994
	<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	NOM-127-SSA1-2021

Tabla 5. Límites máximos permisibles Proyecto de Norma 001-SEMARNAT-2017 para zonas marinas mexicanas y estuarios

Parámetro microbiológico en estuarios	Promedio Mensual	Promedio Diario	Valor instantáneo
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	1000	1200	1400
<i>Enterococos fecales</i> (NMP/100 ml)	1000	1200	1400

Los resultados obtenidos son justificables en cuanto a mayor NMP a orillas de la bahía, a diferencia del segundo muestreo que fue ejecutado a una distancia considerable. Lo anterior concuerda con lo observado por Castillo y Carrillo (2001) quienes encontraron mayor presencia de coliformes totales y fecales en los primeros 50 metros de la línea de costa de la bahía de Chetumal, debido a la poca profundidad y la escasez de corrientes de la zona, así como el arrastre de materia orgánica de los tributarios del río Hondo, como el San Román y Ucum. Así, también Contreras (2016), menciona que durante la temporada de lluvias se efectúa una dilución de la carga

contaminante proveniente de las descargas de aguas residuales. Por otro lado, Aguilar (2011) demostró que a 300 metros de la orilla factores como el viento, las corrientes, el oleaje y la profundidad influyen en la dilución de la carga bacteriana por lo cual, a esta distancia de la orilla pocas veces se detecta la presencia de coliformes totales y fecales.

En cuanto a coliformes fecales (Tabla 2) solo el M2-BC-3 evidenció crecimiento bacteriano con un valor de 9 NMP/100 ml encontrándose dentro del límite establecido en los C-CCA-001/89. Estos muestreos se realizaron en época de lluvias y de acuerdo con Medrano (2008) las

precipitaciones provocan una dilución de la carga bacteriana por lo cual disminuye la concentración de organismos coliformes fecales. Ortiz y Sáenz (1999) coinciden en que los puntos situados a 50 y 100 metros de la línea de costa la densidad de los coliformes fecales decrece, esto debido al efecto de dilución, por la dispersión de las mareas y los vientos, que se presentan con mayor fuerza en la temporada de lluvias (julio- octubre). En la caracterización hidrogeoquímica de las aguas del sur del estado de Quintana Roo, realizada por Sánchez et al. (2015), la región de estudio, tiene alto contenido de NaCl y CaSO₄. El índice de calidad química del agua (ICA) en la región ha cambiado en los últimos años de pobre a extremadamente pobre (Sánchez et al. 2016). En cuanto a parámetros fisicoquímico, las características principales fueron valores altos de CE, SDT, por la presencia de sales disueltos, así como valores más bajos de pH, factores fisicoquímicos que impactan la presencia de los indicadores microbiológicos de la calidad del agua.

Conclusiones

Los niveles de contaminación microbiológica rebasan los límites máximos permisibles en la

mayoría de puntos muestreados (NOM-127-SSA1-2021) y es razonablemente presumible que estos están influenciados por las descargas de agua residual y pluvial que desembocan en la bahía de Chetumal, como las ubicadas a un costado de la fuente del pescador y en la terminal marítima. La presencia de organismos como los coliformes termo tolerantes, es un claro indicador de contaminación, por lo que se resalta la importancia de realizar monitoreos durante las temporadas de lluvias y secas, que permitan establecer acciones para garantizar la calidad del agua a futuro, así como el cumplimiento de la normatividad. Es preocupante y se debe tomar medidas para que la bahía de Chetumal cumpla con las características para ser considerada apta para uso recreativo, como antaño.

Agradecimientos

Al TecNM Campus Valladolid por las facilidades brindadas en talleres y laboratorios para el desarrollo de la presente investigación, así como a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, por la participación en el primer congreso de ciencias exactas e ingeniería ConCEI-1.

Referencias

- Aguilar Martínez, P. A. (2011). "Evaluación de coliformes totales y fecales como indicadores de contaminación fecal en la zona conurbada de la bahía de Chetumal". Tesis de licenciatura. Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México. <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1050>
- APHA-AWWA-WPCF. (1992). Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, parte 9000. "Examen microbiológico de las aguas", (edd.), 9(78)-9(93). 17 ed., Ediciones Díaz de Santos S.A., Madrid, España.
- Carrión Jimenez, J. M., González Bucio, J. L., Rivero Rodriguez, M., Delgado Blas V. H., Canché Uuh, J. A., Pérez Vargas J., Calva Calva, G. (2013). Estudio de la contaminación por descargas de aguas residuales en la bahía de Chetumal Quintana Roo. "Tecnocultura" Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (11)(30)

<https://tecnocultura.org/index.php/Tecnocultura/article/view/2019/238>

- Castelblanco-Martínez D.N., Padilla-Saldívar J., Hernández-Arana H.A., Slone D.H., Reid J.P. and Morales-Vela B. (2013). Movement patterns of Antillean manatees in Chetumal Bay (Mexico) and coastal Belize: A challenge for regional conservation. "Ciencia de mamíferos marinos", 29 (2), E166-E182. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2012.00602.x>
- Castillo Rodríguez I. Y., Carrillo Ramírez A. (2001). "Diagnóstico sobre la situación que guarda la bahía de Chetumal debido al impacto ocasionado por las descargas de aguas residuales y pluviales". Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Chetumal, Quintana Roo, México.
- Contreras Cobos J. E. (2016) "Evaluación del aporte de nutriente y parámetros fisicoquímicos de los ríos San Román y Ucum tributarios al río Hondo durante las temporadas de lluvias y secas. Tesis Licenciatura, Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México. <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1814>
- Díaz López C., Carrión Jiménez J. M., & González Bucio J. L. (2006). Estudio de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. (S. Q. Perú, Ed.) "Revista de la Sociedad Química del Perú", 71(1), 19-31. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371941284004>
- Hernández Terrones L. M., Null K. A., Ortega Camacho D., Paytan A. (2015). Water quality assessment in the Mexican Caribbean: Impacts on the coastal ecosystem."Continental Shelf Research", 102, 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.04.015>
- Medrano A. A. B. (2008). "Determinación de nitrógeno inorgánico y coliformes fecales en los efluentes pluviales y del manto freático que desembocan en la bahía de Chetumal". Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Quintana Roo, Quintana Roo, México. <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/540>
- Ortiz-Hernández Ma. C., Sáenz-Morales R. (1999). Effects of organic material and distribution of fecal coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, México."Environmental monitoring and assessment", 55, 423-434. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005939100154>
- Romero-Calderón A.G., Morales-Vela B., Rosiles-Martínez R. et al. (2016) Metals in Bone Tissue of Antillean Manatees from the Gulf of Mexico and Chetumal Bay, Mexico. "Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology", 96, 9–14 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1674-6>
- Sánchez-Sánchez J. A., Álvarez-Legorreta T., Pacheco-Ávila J. G., González-Herrera R. A., Carrillo-Briebzca L. (2015). Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México. "Revista Mexicana de Ciencias Geológicas", 32(1), 62-76.

- Sánchez-Sánchez J. A., Álvarez-Legorreta T., Pacheco-Ávila, J. G., González-Herrera R. A., (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. “Tecnología y Ciencias del Agua”, 7(4), 75-95. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353549828005>
- SSA-COFEPRIS (2015) Manual Operativo Vigilancia de agua de contacto en playas y cuerpos de agua dulce. Mexico DF. 28 paginas. Disponible en <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/gob-mx/playas/pdf/lineamientos.pdf>
- SSA, Secretaria de Salud (2023). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. México: Diario Oficial de la Federación DOF. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5650705
- Uc-Peraza R.G., Delgado-Blas V.H. (2015). Acute toxicity and risk assessment of three commercial detergents using the polychaete *Capitella* sp. C from Chetumal Bay, Quintana Roo, Mexico. “International Aquatic Research” 7, 251–261. <https://doi.org/10.1007/s40071-015-0112-z>
- World Health Organization. (2022). Water Sanitation and Health: Drinking Water. Obtenido de World Health Organization: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>