

“PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE METALES Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE VALLADOLID, YUCATÁN”

¹Lillian Noemi Poot Torres, lillian.poot@valladolid.tecnm.mx

²Grisel Anahí Cervantes Cocom, grisel.cc@valladolid.tecnm.mx

³Camilo Gabriel Chan Ceh, camilo.cc@valladolid.tecnm.mx

RESUMEN

La contaminación por metales pesados y otros compuestos en los ecosistemas acuáticos es cada vez mayor a nivel mundial, dicho esto son los que afectan la estabilidad del medio y la biodiversidad, debido a que son compuestos tóxicos y pueden ser un factor de propagación de enfermedades a mediano o largo plazo, tanto en los organismos acuáticos como en los seres vivos que lo consumen, ocasionando problemas crónicos o agudos a la salud incluyendo la modificación del material genético e incluso la muerte.

En esta investigación se plantea un proyecto para determinar concentraciones de metales pesados (Pb, Cd, Zn y Hg) en cenotes de interés turístico y puntos de suministro en Valladolid, Yucatán. Así, este proyecto es un estudio de tipo puro debido a que se desea plantear de forma descriptiva y exploratoria información reciente. Además, es cualitativo pues se indaga acerca de información de muestreos y cuantitativo debido a los análisis descriptivos e interpretativos de datos que se realizarán al finalizar los muestreos. También, es no experimental ya que no se modificarán variables para observación de respuesta y longitudinal debido al periodo de ejecución de un año. En cuanto a la metodología se realizará con base a la NMX-AA-051-SCFI-2001, sobre la determinación de metales pesados por medio de absorción atómica. También, se medirán parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad ($\mu\text{mho/cm}$), Sólidos disueltos totales (mg/L), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y algunos nutrientes. Para el procesamiento de resultados se empleará Microsoft Excel 2016 se espera que las concentraciones arrojen datos que no rebasen los límites permisibles de acuerdo a las normas establecidas, que exista una relación con los parámetros fisicoquímicos y por ende se conozca su efecto en el medio ambiente.

ABSTRACT

Pollution by heavy metals and other compounds in aquatic ecosystems is increasing worldwide, that being said, they are the ones that collide with the stability of the environment and biodiversity, because they are toxic compounds and can be a propagation factor. of diseases in the medium or long term, both in aquatic organisms and in living beings that consume it, causing chronic or acute health problems including the modification of genetic material and even death. This research proposes a project to determine concentrations of heavy metals (Pb, Cd, Zn and Hg) in cenotes of tourist interest and supply points in Valladolid, Yucatan. Thus, this project is a pure type study because it is desired to present recent information in a descriptive and exploratory manner. In addition, it is qualitative because it inquires about the information of the demonstrations and quantitative due to the descriptive and interpretive analyzes of the data that will be carried out at the end of the demonstrations. Also, it is not experimental since variables for response and longitudinal observation will not be modified due to the execution period of one year. Regarding the methodology, it was carried out based on the NMX-AA-051-SCFI-2001, on the determination of heavy metals by means of atomic absorption. Also, physicochemical parameters such as pH, conductivity ($\mu\text{mho/cm}$), total dissolved solids (mg/L), temperature ($^{\circ}\text{C}$) and some nutrients will be measured. For the processing of results, Microsoft Excel 2016 will be used. It is expected that the concentrations yield data that do not exceed the permissible limits according to the established norms, that there is a relationship with the physicochemical parameters and therefore their effect on the environment is known.

PALABRAS CLAVE

Acuático
Contaminación
Metales Tóxicos

KEYWORDS

Aquatic
Pollution
Toxic Metals

¹Tecnológico Nacional de México campus Valladolid/Estudiante

²Tecnológico Nacional de México campus Valladolid/Estudiante

³Tecnológico Nacional de México campus Valladolid/Estudiante

I. INTRODUCCIÓN

Existe un verdadero problema debido a la falta de información actualizada sobre las concentraciones presentes de los principales metales pesados en cenotes de uso turístico en el oriente de Yucatán.

La industrialización produce efluentes que transportan compuestos tóxicos, entre los que se encuentran los metales, cuyas descargas a cuerpos de agua son las fuentes principales de contaminación y, como consecuencia, de diversas enfermedades (ATSDR, 2012).

Los metales pesados son contaminantes que por su persistencia y transporte a grandes distancias alcanzan con cierta facilidad los cuerpos de aguas superficiales, manifestando un riesgo potencial para la biota. Estos contaminantes pueden provenir de diversas fuentes, como actividades petroleras, agrícolas, metalúrgicas, azucareras, e incluso urbanas y sanitarias (herbicidas e insecticidas). La elevada toxicidad de metales tiende a bioacumularse en la biota e ingresar a la cadena trófica al biomagnificarse hasta llegar a los organismos superiores, incluyendo el hombre (Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado, & Borbón, 2012). En la Península de Yucatán (PY) la única fuente de agua proviene de una capa de agua dulce del acuífero. El suelo de la región posee características geológicas como alta porosidad y permeabilidad (Bauer et al. 2011) y en combinación con factores antropogénicos que se acrecientan debido a las altas tasas de crecimiento de la población local, este acuífero es vulnerable a la contaminación por diversas sustancias tóxicas (Rodríguez et al., 2017) entre estas los metales pesados.

Debido a las características de desarrollo económico en el estado de Yucatán es sabido que la contaminación de las aguas subterráneas es principalmente debido a actividades agrícolas y turísticas. Por ejemplo, Cobos-Gasca et al., (2014) realizaron un estudio en ocho pozos ubicados en el anillo de cenotes, los municipios que abarcaron son: Celestún, Abalá y Buctzotz, así como en el cenote de Xlaká en Dzibilchaltun, dichas muestras fueron recolectadas de manera superficial. Su cuantificación de contaminantes fue por cromatografía de gases. Y estos resultados arrojaron la presencia de ocho tipos de plaguicidas: Aldrin, Clordano, HCH, Endosulfan, Endrin, Heptacloro, Metoxcloro, DDT y sus metabolitos. Otro estudio de Polanco-Rodríguez et al., (2017) en el que se realizó una recopilación de la contaminación por COP's en Yucatán, se menciona que, en la época de lluvias y secas, se colectaron muestras de agua y en sus resultados se indicaron la presencia de 324 detecciones en 14 tipos de plaguicidas organoclorados

y sus metabolitos (Endrin aldehído, Endosulfán sulfato, Heptacloro, Lindano).

Con respecto a la presencia de metales pesados la información es escasa, pero Pacheco et al., (2011) determinaron cadmio en el agua subterránea de Yucatán, en Valladolid se realizaron cuatro muestreos con los resultados siguientes 2.31, 2.31, 2.82 y 2.48 $\mu\text{g/L}$, que no sobrepasaron los 5 $\mu\text{g/L}$ límite permisible que marca la NOM-127-SSA1-1994. Sin embargo, el cadmio se detectó en las 45 localidades muestreadas, destacando la importancia de continuar con monitoreos. La alteración de la calidad del agua debido a la presencia de metales pesados y por ende los efectos que suelen tener, demuestra probabilidad daños a la salud de las personas y al ambiente acuático.

De esta forma, este plan es un análisis de tipo puro ya que se quiere proponer de manera detallada y exploratoria información presente. Además, es cualitativo puesto que se indaga sobre información de muestreos y cuantitativo gracias a los exámenes descriptivos e interpretativos de datos. En suma, es no empírico debido a que no se modificarán variables para observación de cambios en los resultados y longitudinal debido al lapso de ejecución de un año. Referente a la metodología se realizará con base a la NMX-AA-051-SCFI-2001, sobre la determinación de metales pesados mediante absorción atómica, considerando además los Métodos estandarizados para el análisis de aguas y aguas residuales (APHA, AWWA, WEF 1992) para los análisis fisicoquímicos.

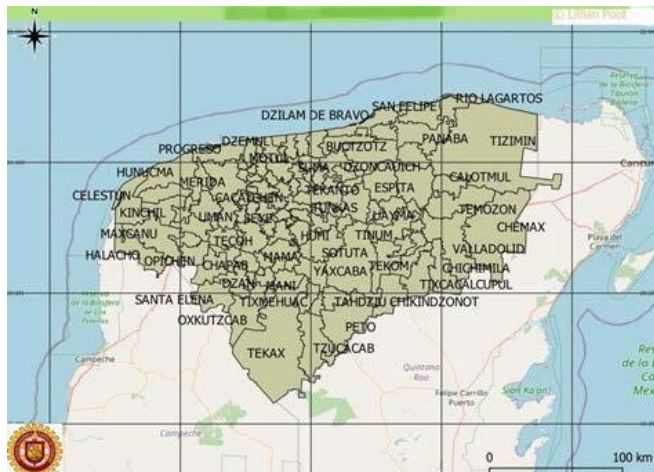
Por esta razón se realizará el estudio de dos cenotes y tres fuentes de suministro dentro de la ciudad, en materia de concentraciones de metales pesados, con la finalidad de verificar y estudiar las concentraciones de Pb, Cd, Zn y Hg. Los cenotes Zaci y Oxman debido a su uso turístico son relevantes y se propusieron para análisis. También, se medirán parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad ($\mu\text{mho/cm}$), Sólidos disueltos totales (mg/L), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), cloro (mg/L), fosforo (mg/L) y nitrito (mg/L).

II. METODOLOGÍA

La población de estudio se enfoca en los cenotes de Valladolid que es la tercera ciudad más poblada del estado de Yucatán, en México, así como la cabecera del municipio homónimo. (Yucatán, 2022). Se ubica al sureste del país, en la región oriente del estado, a 169 km de Mérida, la capital de la entidad. Los cenotes fueron seleccionados de acuerdo al mayor impacto turístico de la región y por lo tanto existe mayor cantidad de bañistas, y algunos de los criterios para la selección es que este publicitado en más de tres direcciones web al analizar los primeros resultados utilizando palabras clave como "Cenotes Turísticos Yucatán", por lo cual constituirán a los resultados de la determinación de metales pesados y de

la calidad que arrojen los parámetros fisicoquímicos del cenote Zaci y Oxman en el periodo Enero- diciembre 2023. También, se seleccionaron de manera aleatoria tres zonas (colonias) dentro de Valladolid para analizar aguas de suministro (Figura 1).

Figura 1. Valladolid, Yucatán



Fuente Google Maps, (2022)

Se pretende recabar los resultados de los muestreos correspondientes a las dos cohortes de estudio correspondientes al año 2023. Los instrumentos que se utilizarán son la observación, encuesta, formatos de recolección de datos (Bitácoras), fichas de laboratorio y plan de muestreo. Aunque de igual forma entre los instrumentos de laboratorio se manejarán redes de muestreo, equipo multiparámetro portátil (análisis

físico-químicos in situ: temperatura, pH), GPS al igual que equipo de muestreo.

En consecuencia, se realizará la toma de muestras de agua en los cenotes de uso turístico y recreacional para determinar la calidad del agua teniendo las siguientes precauciones: no introducirse en el agua ni nadar en el cenote para recoger la muestra, cuando se recoja la muestra se permanecerá en un terreno firme, se usará guantes y siempre se irá acompañado. Los muestreos se realizarán de acuerdo al Manual operativo vigilancia de agua de contacto primario en playa y cuerpos de agua dulce (COFEPRIS, 2015). Siguiendo a la NMX-AA-051-SCFI-2001, la cual abarca la parte de la determinación de metales pesados con absorción atómica en aguas naturales para la determinación de los metales como Pb, Cd, Zn y Hg; por otra parte, los parámetros fisicoquímicos como pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, turbidez, sólidos suspendidos totales, cloruros, nitritos y nitratos además de la normatividad mexicana se considerarán los Métodos estandarizados para el análisis de aguas y aguas residuales (APHA, AWWA, WEF 1992).

Los resultados de los análisis obtenidos de estas aguas se contrastarán con los parámetros establecidos en las normas mexicanas. Para realizar este procedimiento, se utilizarán los softwares IBM SPSS Statistics versión 23, Microsoft Excel 2016 y para la realización de gráficas se utilizará la aplicación de Word.

En la Tabla 1 muestra las variables de estudio a analizar para los metales pesados y parámetros fisicoquímicos del cenote en base a los límites máximos permisibles marcados en la normatividad mencionada.

Tabla 1. Métodos para la determinación de parámetros

Parámetro	Medición	Equipo	Método		
O ₂	El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua. El oxígeno libre es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas, y otros organismos; por eso, desde siempre, se ha considerado como un indicador de la capacidad de un río para mantener la vida acuática.	mg/L	in situ	Oxímetro multiparámetros	APHA-AWWA-WPCF 1992 Instructivo de uso oxímetro
SDT	El total de sólidos disueltos (a menudo abreviado como TDS, del inglés: Total Dissolved Solids) es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro-granular.	mg/L	in situ	Potenciómetro	Instructivo multiparámetros AQUALITYC
pH	El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones.	Unidad de pH			NMX-AA-008-SCFI.
Temperatura	La temperatura es una medida de la energía cinética media de las moléculas de agua. Se mide en una escala lineal de grados Centígrados o grados Fahrenheit.	°C			NMX-AA-007-SCFI-2000
Conductividad	La conductividad se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos.	µS/cm)			NMX-AA-093-SCFI-2000
Cloro Nitrito RA Fosforo	Son unos indicadores ambientales importante de la calidad del agua.	mg/L	Ex situ	Fotómetro	NOM-127-SSA1-2021
Metales Pesados (Pb, Cd, Zn y Hg)		mg/L	Ex situ	Espectrofotómetro de absorción atómica (EAA). Con haz sencillo o doble, monocromador, detector, fotomultiplicador ajustable al ancho de banda	NMX-AA-051-SCFI-2001

Nota. Se desglosa a manera de tabla las variables de estudio del proyecto de investigación, en conjunto de sus técnicas, métodos, materiales y normatividad.

Fuente: Elaboración propia.

· Volumen 2, Número 1, Diciembre 2022 ·

III. RESULTADOS O AVANCES

Se presentan los resultados generales de parámetros físico-químicos de un muestreo exploratorio de tres colonias en Valladolid, Yucatán.

Temperatura

Es uno de los parámetros más importantes de la calidad de agua. La temperatura afecta la química del agua y las funciones de los organismos acuáticos.

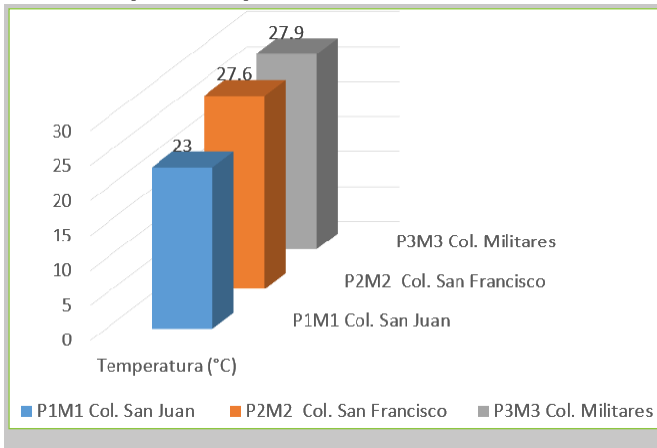
La temperatura influye en:

La cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua, la velocidad de fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas, la velocidad metabólica de los organismos, la sensibilidad de organismos a desechos tóxicos, parásitos y enfermedades, épocas de reproducción, migración y estivación de organismos acuáticos.

Se realizaron tomas de muestra en 3 puntos de muestreo. La temperatura arrojó valores que oscilaron de 23 °C a 27.9 °C obteniendo un promedio de 26.16 °C (Figura 2).

Figura 2

Resultado de Temperatura en los puntos de muestreo seleccionados.



De acuerdo a la NMX-AA-007-SCFI-2013, si se rebasa el límite permisible considerado que las características a seguir estuvieron dentro del rango, pero el resultado final no fue de 45 °C, fue un poco más elevado.

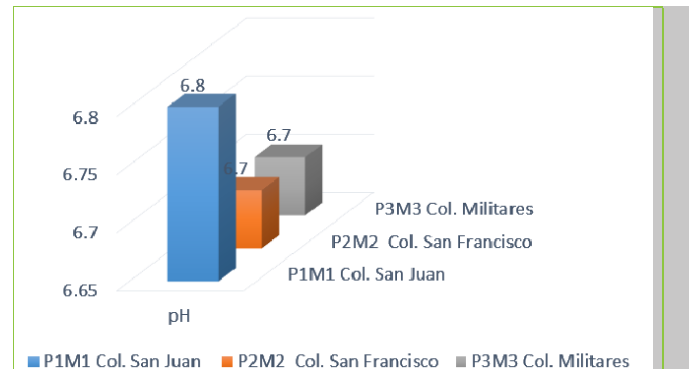
pH

La medición del pH del agua es muy importante para muchos tipos de muestra. Los valores altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directa o indirectamente. Es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático.

Al realizar la medición de este parámetro los valores arrojaron valores que oscilaron de 6.7 a 6.8 obteniendo promedio de 6.73, un valor que se encuentra en nivel de acidificación (Figura 3).

Figura 3

Resultado de pH en los puntos de muestreo seleccionados



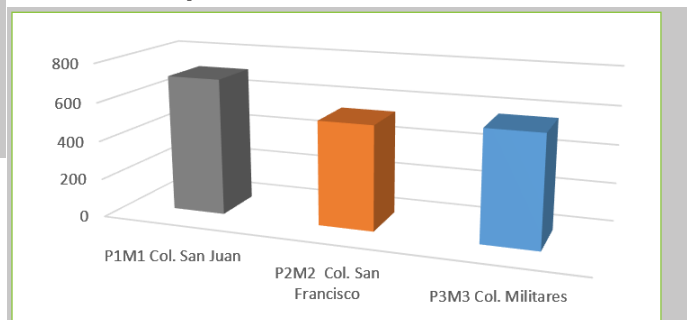
Sólidos Disueltos Totales

Una medida muy utilizada para medir la calidad del agua es el TDS (Total de Sólidos Disueltos, por sus siglas en inglés). Se trata de un método sencillo de utilizar; pero, debido a su limitación para abordar todos los parámetros establecidos para la calidad del agua, se puede considerar problemático. El TDS es el porcentaje de residuo seco que engloba sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica disueltas en el agua. Sus principales constituyentes son los cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio y los aniones de carbonato, bicarbonato, cloro, sulfato y nitrato.

Al realizar la medición de este parámetro los valores arrojaron valores que oscilaron de 540 a 710 mg/L obteniendo promedio de 606.66 mg/L (Figura 4).

Figura 4

Resultado de TDS en los puntos de muestreo seleccionados.

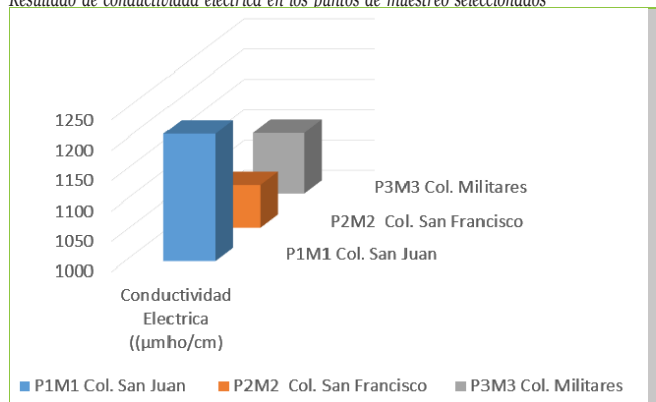


Conductividad Eléctrica

La conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura. La determinación de este parámetro es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua para ser usada en el laboratorio en análisis de rutina o para trabajos de investigación.

Al realizar la medición de este parámetro los valores arrojaron valores que oscilaron de 1070 a 1210 $\mu\text{mho/cm}$ obteniendo promedio de 1126.66 $\mu\text{mho/cm}$ (Figura 5).

Figura 5
Resultado de conductividad eléctrica en los puntos de muestreo seleccionados



Los parámetros presentados anteriormente no represen-

tan un foco rojo de riesgo ambiental, pero, son relevantes en los análisis exploratorios de calidad de agua. A continuación (Tabla 2) se presentan los resultados de tres parámetros medidos en las colonias San Juan, San Francisco y Militares, en la ciudad de Valladolid, como es posible observar la colonia San Juan sobrepasa el límite de 0.9/L (NOM-127-SSA1-2021) en cuanto a la concentración de nitrato, lo que se traduce en contaminación relacionada con aguas residuales. En cuanto a los valores de las tres colonias para fósforo, estas permiten condiciones de eutrofización pues superan los 0.1 mg/L. Con respecto al cloro entran dentro de los límites de la normatividad.

Tabla 2
Resultados de parámetros

Parámetros	P1M1 Col. San Juan	P2M2 Col. San Francisco	P3M3 Militares
Fósforo (P en mg/L)	0.5	3.6	1.1
Nitrato RA (N-NO ₂ en mg/L)	12	0.1	1
Cloro (Cl en mg/L)	0.28	0.02	0.03

Por su parte las mediciones de metales pesados se encuentran en proceso de ejecución.

IV. CONCLUSIONES

Mediante los resultados preliminares de este estudio que actualmente se encuentra en ejecución, es posible afirmar que al determinar parámetros definidos en la normatividad el recurso hídrico abastecido no cumple en su totalidad con los lineamientos (NOM 127 SSA-2021) de la normatividad en México. Por lo tanto, se recomienda dar seguimiento oportuno respecto a la evaluación con índices de calidad para uso y consumo humano. Pues, los recursos de abastecimiento que presentan riesgo de contaminación siempre requieren de mejoras radicales en el seguimiento y medidas de cuidado y preservación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agency for Toxic Substances & Disease Registry, ATSDR. (2012). *Reseña toxicológica del plomo*. Atlanta, USA: Agency for Toxic Substances & Disease Registry, Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU., Servicio de Salud Pública.

APHA, AWWA, WEF (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation) (1992), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Washington, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation (APHA, AWWA, WEF)

Arcega Cabrera, F., N. Velázquez Tavera, L. Fargher, M. Derrien, E. Noreña Barroso (2014) (b). Fecal sterols, seasonal variability, and probable sources along the ring of cenotes, Yucatan, Mexico. *Journal of Contaminant Hydrology* 16841– 49.

ATSDR, (2016). Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Buchman, M.F. (2008). NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA HAZMAT Report 99-1. Coastal Protection and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA p. 12.

Castañe P. M. 2016, *Influencia de la Especiación de los Metales pesados en Medio Acuático como determinante de su toxicidad*, España.

Cobos V. (2014) *Plaguicidas organoclorados: Contaminantes persistentes en cenotes de Yucatán*. *Bioagrociencias* 7 (1), 24-27

ECOL (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-001- ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación, México

Herrera, J., (2012). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 27-36.

NMX-AA-051-SCFI-2001: Análisis de agua - Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Recuperado el 08/11/2022 Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166785/NMX-AA-051-SCFI-2001.pdf>

NMX-AA-007-SCFI-2000 Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba Recuperado el 08/11/2022 Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-007-SCFI-2000.pdf>

NMX-AA-008-SCFI-2000.- Determinación del pH. -Método de prueba Recuperado el 08/11/2022 Disponible en: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/01/nmx-aa-008-scfi-2000.pdf>

NMX-AA-093-SCFI-2000 Determinación de la conductividad electro-lítica -Método de prueba Recuperado el 08/11/2022 Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166800/NMX-AA-093-SCFI-2000.pdf>

Pachepsky YA (2018). *Microbial Water Quality: Monitoring and Modeling*. *J Environ Qual*. 47(5):931-938. doi: 10.2134/jeq2018.07.0277. PMID: 30272779. [Recuperado el 20 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/jeq2018.07.0277>

Pérez Yáñez, D. (2020). "BIOACUMULACIÓN DEL CADMIO Y PLOMO EN CUATRO GRUPOS DE ZOOPLANCTON DEL NORESTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO." https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1772/1/PCA_M_Tesis_2020_Daniela_Perez_Yanez.pdf

R. Horton, (2021) "An Index Number System for Rating Water Quality," *Journal of Water Pollution Control Federation*, vol. 37, 1965. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/25035251?seq=1>

Raffo Lecca, (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80. [Recuperado el 23 de mayo del 2021]. ISSN: 1560-9146. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81640855010>

Yucatán (2022) Localización del Municipio de Valladolid Yucatán. Disponible en: https://www.yucatan.gob.mx/estado/ver_municipio.php?id=102

Pacheco Avila, Julia., Cabrera Sansores, A., Barcelo Quintal, M., Alcocer Can, L., y Pacheco Parera, M., (2011) *Environmental Study on Cadmium in Groundwater in Yucatan* Recuperado de : <file:///C:/Users/Lillian%20Poot/Downloads/art%C3%ADculo%20metal%202011.pdf>

