



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

INGENIERÍA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA
PARA USO Y CONSUMO HUMANO DEL RÍO
TOTOAPAN Y MARÍA DE LA TORRE EN
TLAPACOYAN, VERACRUZ.”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

P R E S E N T A

JAHIR DE JESÚS HERNÁNDEZ MARTINO

DIRECTOR:

ING. HEIDI ANABEL JÁCOME SÁNCHEZ

CO-DIRECTOR:

M.C. ALAN ANTONIO RICO BARRAGÁN

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a mis padres por su apoyo en todo momento, ellos fueron el pilar que me sostuvo y el motor que me impulsó para que llegara hasta aquí. Los consejos y valores que me inculcaron siempre los tendré presente.

A mi hermana Verónica que desde pequeña es mi compañera de vida, a abuelos mis tíos y primos por su apoyo, mi familia es parte importante de todo esto.

A mi tía Mireya quien me apoyó en la mejora y redacción de mi tesis, le agradezco por el tiempo.

Al M.C. Alan Rico por su apoyo en la asesoría de mi trabajo y brindarme sus conocimientos para poderme desarrollar de mejor manera.

A la Ing. Heidi Anabel Jácome Sánchez por la asesoría de mi tesis, por cada momento brindado para la mejora de mi trabajo, estaré siempre profundamente agradecido.

Al Ing. Yovani López Gonzales por su apoyo en el mejoramiento del trabajo y el tiempo dedicado a la revisión.

A mis maestros que compartieron todos sus conocimientos, sirvieron como escalera para mi formación.

Al H. Municipio de Tlapacoyan, por el apoyo tanto económico y logístico para la realización de la presente tesis.

A dios que ha estado en todo momento conmigo, gracias por darme protección y la fuerza para seguir adelante a pesar de las adversidades.

A todas las personas que en me han apoyado a lo largo de este camino.

¡Muchas gracias a todos!

RESUMEN

Uno de los principales problemas de los ríos en el estado de Veracruz es que se encuentran contaminados, muchos municipios de esta entidad ocupan el agua de los ríos como potable, un ejemplo de ello es el municipio de Tlapacoyan, Veracruz, donde el suministro de esta agua se toma de los Ríos Totoapan y María de la Torre, sin embargo no existe información sobre calidad del agua de estos. El propósito de esta investigación fue evaluar la calidad del agua de los ríos Totoapan y María de la Torre a partir de parámetros físico-químicos y microbiológicos, la información obtenida será utilizada para establecer tratamientos de limpieza o depuración necesarios para ofrecer agua de calidad a los habitantes. Las tomas de muestra se hicieron en puntos estratégicos previamente localizados, el primer muestreo se realizó en el mes de Octubre, el segundo en el mes de Febrero y el tercero en Junio. Se analizaron diversos parámetros usando Normatividad Mexicana, como pH, temperatura, sólidos sedimentables, alcalinidad, conductividad eléctrica, materia flotante, dureza total, grasas y aceites; para la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) se usó el manual HACH, determinación la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se realizó con base en la guía de la Universidad de Sevilla, Oxígeno Disuelto con base al Test Kit, por último para coliformes totales y fecales se desarrolló de acuerdo al método 3M Pretifilm. Estos estudios se llevaron a cabo en el Laboratorio de Servicios Especializados de Agua (LABSEA) del Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Los resultados obtenidos de los análisis indican que la mayoría de los valores se encuentran dentro de normatividad, excepto los coliformes totales o fecales, la dureza total y el oxígeno disuelto; la presencia de coliformes puede demostrar una contaminación por desechos provenientes de hogares que descargan sus aguas residuales antes de los puntos de muestreo.

ABSTRACT

One of the main problems of the rivers of the state of Veracruz is that they are contaminated, many municipalities of this entity occupy the water of the rivers as potable, an example of this is the municipality of Tlapacoyan Veracruz, where the supply of this water is taken from the Totoapan and María de la Torre Rivers, however there is no information on their water quality. The purpose of this research was to evaluate the water quality of the Totoapan and María de la Torre rivers based on the physicochemical and microbiological parameters, the information obtained will be determined to establish cleaning or purification treatments necessary to offer quality water to the inhabitants. The samples were taken at previously located strategic points, the first sampling was performed in October, the second in February and the third in June. Various parameters were analyzed using Mexican regulations, for pH, temperature, sedimentable solids, alkalinity, electrical conductivity, floating matter, total hardness, fats and oils; For the Biological Oxygen Demand (BOD₅) it was used HACH manual, determine the Chemical Oxygen Demand (COD) was made based on the guide of the University of Seville, Dissolved Oxygen based on the Test Kit, Finally, for total and fecal coliforms, it was developed according to the method 3M Pretifilm. These studies were carried out in the Laboratory of Specialized Water Services (LABSEA) of the Instituto Tecnológico Superior de Misantla. The indicated results of the analyzes indicate that most of the values are within the normativity, except for total or fecal coliforms and total hardness; the presence of coliforms can demonstrate contamination by household waste that discharge their wastewater before sampling points.

Contenido

ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.4 Objetivo General.	3
1.4.1 Objetivos específicos.	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 El agua.....	4
2.2 Disponibilidad del agua en México.	4
2.3 Disponibilidad del agua en Veracruz.	5
2.4 Usos del agua en México.	6
2.5 Agua potable o agua para uso y consumo humano.....	6
2.6 Sistema de tratamiento de agua potable.	7
2.7 Agua residual.	7
2.8 Contaminación del agua.....	8
2.9 Calidad del agua.	8
2.10 Parámetros físicos.....	9
2.10.1. Temperatura.....	9
2.10.2. Sólidos disueltos.....	9
2.10.3. Sólidos sedimentables.....	10
2.10.4. Conductividad eléctrica.....	10
2.11 Parámetros Químicos.....	10
2.11.1. pH.....	11
2.11.2. Dureza Total.	11
2.11.3. Grasas y aceites.	12
2.11.4. Alcalinidad.	13
2.11.5. Oxígeno disuelto.....	13
2.11.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).	14
2.11.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO).	14
2.12 Parámetros microbiológicos.	15
2.11.1. Coliformes totales.	15
2.11.2. Coliformes Fecales.	16

2.13	Impacto a la salud por aguas contaminadas.....	16
2.14	Marco Legal nacional en materia de aguas.....	17
2.14.1.	Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos.....	17
2.14.2.	Ley de aguas nacionales.....	18
2.14.3.	NOM-127-SSA1-1994.....	18
CAPÍTULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS.....		20
3.1	Descripción de área de estudio.....	20
3.2	Determinación de los puntos de muestreo.....	20
3.3	Muestreo.....	21
3.3.1.	Procedimiento de toma de muestra.....	22
3.4	Análisis de laboratorio.....	22
3.4.1	Análisis físicos.....	23
3.4.2	Análisis químicos.....	25
3.4.3	Análisis microbiológico.....	31
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		32
4.1	Temperatura.....	32
4.2	Sólidos disueltos.....	33
4.3	Conductividad eléctrica.....	34
4.4	pH.....	35
4.5	DBO ₅	36
4.6	DQO.....	37
4.7	Dureza total.....	38
4.8	Alcalinidad.....	39
4.9	Oxígeno disuelto.....	41
4.10	Grasas y aceites.....	42
4.11	Coliformes.....	42
CAPITULO V. CONCLUSIONES.....		45
BIBLIOGRAFÍA.....		46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Clasificación de las aguas según su grado de Dureza.	12
2	Clasificación de la Alcalinidad de acuerdo a su concentración.	13
3	Límites máximos permisibles de los parámetros de acuerdo a la NOM-127-SAA1-1994.	19
4	Volúmenes de muestras utilizados para análisis de DBO ₅	25
5	Volúmenes a agregar de solución patrón para prueba DQO.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribución del agua según su uso.	6
2	Puntos de muestreo para el análisis de calidad del agua.	21
3	Curva de calibrado obtenida de concentraciones conocidas de DQO.	27
4	Resultados de los promedios de la Temperatura en la evaluación de los puntos de muestro.	32
5	Resultados de los promedios de los S. D. en la evaluación de los puntos de muestreo.	33
6	Resultados de los promedios de la Conductividad Eléctrica en la evaluación de los puntos de muestreo.	34
7	Resultados de los promedios del pH en la evaluación de los puntos de muestreo.	35
8	Resultados de los promedios de la DBO ₅ en la evaluación de los puntos de muestreo.	37
9	Resultados de los promedios de la DQO en la evaluación de los puntos de muestreo.	38
10	Resultados de los promedios de la Dureza Total en la evaluación de los puntos de muestreo.	39
11	Resultados de los promedios de la Alcalinidad en la evaluación de los puntos de muestreo.	40
12	Resultados de los promedios del Oxígeno Disuelto en la evaluación de los puntos de muestreo.	41
13	Resultados en el análisis coliformes en el Río Totoapan (P1). A) Resultados primer muestreo B) Resultados Segundo muestreo.	43
14	Resultados en el análisis coliformes en el Río María de la Torre (P2). A) Resultados primer muestreo B) Resultados Segundo muestreo.	43

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Introducción.

Actualmente, la problemática de la contaminación del agua ha ido en aumento, según CONAGUA (2016) más del 70% de los cuerpos de agua en México se consideran con problemas de contaminación, siendo esto un problema nacional, ya que no puede existir un uso directo de la misma, evitando que se cubran las necesidades básicas de las personas.

Existen dos formas de contaminación del agua, por causa natural y la generada por el hombre. La contaminación por origen natural se manifiesta por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración, sedimentación de lodos o sales, lixiviación natural de materia orgánica, los nutrientes del suelo y los procesos biológicos en el medio acuático. La contaminación antropogénica proviene de las actividades domésticas, industriales o agrícolas, así como también los desechos del alcantarillado, residuos industriales, detergentes y pesticidas que se escurren y desembocan en diversos ríos (ONU, 2014).

Muchos municipios abastecen a su población con aguas superficiales, en la Ciudad de Tlapacoyan perteneciente al estado de Veracruz, se hace uso de este tipo de agua para su uso y consumo. El suministro proviene principalmente de dos afluentes; de los ríos Totoapan y María de la Torre, sin embargo, se desconoce la calidad del agua de estos ríos para ser utilizada, o en su caso ser llevada a un proceso de potabilización, antes de su uso. Es por eso que en presente trabajo se buscó analizar la calidad del agua y conocer si es apta para su consumo.

Para determinar la calidad del agua se deben comparar los parámetros fisicoquímicos de las muestra de agua con normas o estándares establecidos. En el siguiente trabajo se realiza una caracterización para saber la calidad del agua del río Totoapan y María de la Torre en base a parámetros fisicoquímicos y microbiológicos comparándolo con la normatividad NOM-127-SSA-1994.

1.2 Planteamiento del problema.

La mayoría del agua superficial que fluye por los ríos del estado de Veracruz se encuentra contaminada, debido a las aguas de drenaje y alcantarillado que se van descargando en los afluentes a su paso por las comunidades causando problemas de salud y enfermedades como el cólera, la disentería y la fiebre tifoidea, además de afectaciones en la piel e irritación en los ojos, sin olvidar el impacto hacia la flora y fauna de la región.

Dentro del municipio de Tlapacoyan se encuentran los ríos Totoapan y María de la Torre, que sirven como abastecimiento de agua potable para la comunidad. De acuerdo con la normatividad mexicana NOM-127-SSA-1994 "Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad" y criterios ecológicos de CONAGUA para calidad del agua, los cuerpos de abastecimiento deben de cumplir con ciertos parámetros.

Hoy en día, no existen estudios en el municipio con precedentes que arrojen información sobre las condiciones específicas con las que cuentan los cuerpos de agua para el abastecimiento del sistema de potabilización. No conocer la calidad del agua puede ocasionar un impacto negativo en la sociedad y medio ambiente, principalmente en las zonas situadas río abajo afectando al municipio en materia de salud pública, lo que representa una alerta para la población, además el agua llega a la comunidad sin pasar por un tratamiento de potabilización adecuado.

1.3 Justificación.

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 se hace referencia a la implementación del manejo sustentable del agua, es decir, la posibilidad de que todos los mexicanos tengan acceso a este recurso, asegurando el abastecimiento y la calidad del mismo para toda la población, a su vez el de fortalecer e incrementar los servicios de agua potable y su saneamiento.

Debido al interés de brindar agua de buena calidad para el uso y consumo humano de la región de Tlapacoyan Veracruz, se trabajó en conjunto con las autoridades municipales correspondientes, desarrollando un estudio de campo para conocer la calidad del agua del río Totoapan y María de la Torre.

La calidad del agua se define en base a los parámetros físico-químicos y microbiológicos. Dicho estudio demostrará si existe un tipo de contaminación en las aguas de dicho municipio, con esto, el gobierno municipal podrá establecer tratamientos de limpieza y/o depuración necesarios para ofrecer agua de calidad a los habitantes.

1.4 Objetivo General.

Determinar la calidad de las aguas superficiales del Río Totoapan y María de la Torre mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

1.4.1 Objetivos específicos.

- Determinar los puntos de muestreo.
- Caracterizar física, química y microbiológicamente las aguas superficiales de Río Totoapan y María de la Torre.
- Desarrollar un análisis estadístico para determinar diferencias entre los puntos de muestreo.
- Comparar los resultados obtenidos con los parámetros establecidos en la Normatividad Oficial Mexicana aplicable.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 El agua.

En el diccionario de la real academia española (RAE, 2018) se define al agua como “líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido, cuyas moléculas están informadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, que constituye el componente más abundante de la superficie terrestre y el mayoritario de todos los organismos vivos”.

La fórmula que compone el agua es H₂O cuando se encuentra en estado puro, esta se congela a los 0 °C y su ebullición es a los 100 °C, alcanzando su densidad a los 4°C (Díaz, 2008). Se calcula que ocupa el 72% de la superficie del planeta tierra, así mismo constituya entre el 50 y 90 % de la masa de los seres vivos, sin embargo se estima que de la gran cantidad de agua disponible en el planeta solo el 0.5% está disponible para el ser humano (Muñoz, 2008).

Mancheno (2015) menciona que al agua se le conoce como solvente universal y es uno de los agentes ionizantes más populares, se mezcla con ciertas sales creando los hidratos, se hace reaccionar con los óxidos de los metales para formar ácidos y también en muchas reacciones químicas importantes reacciona como catalizador.

2.2 Disponibilidad del agua en México.

La República Mexicana está compuesta por un territorio de 1.96 millones de Km² de superficie, integrado en 32 estados y 2457 municipios, localidades y delegaciones, ocupando el lugar 14° a nivel mundial. Un poco más de la mitad del territorio nacional del lado norte y centro presenta zonas áridas y semiáridas, la cantidad de agua que cae es de 500 a 700 mm de lluvia al año. Para la parte centro, zona sur en su mayoría, presenta cantidades de 2000 mm de lluvia al año (García, 2018).

México presenta 1 449 471 millones de m³ de precipitación de agua al año aproximadamente. De la totalidad del agua, el 72.2% del agua se evapora y regresa a la atmósfera, el 21.5% llega a los afluentes superficiales como arroyos y ríos, el 6.3 restante se infiltra a los ríos subterráneos recargando los acuíferos de forma natural (CONAGUA, 2017).

Cabe mencionar que la disponibilidad de agua de las cuencas se descifra con la cantidad de agua de los escurrimientos, infiltración y precipitación media anual de las cuencas hidrológicas existentes del país (CONAGUA, 2008).

2.3 Disponibilidad del agua en Veracruz.

Veracruz dispone de una gran variedad de recursos hídricos en relación a otros estados. La precipitación anual corresponde aproximadamente al doble de la media nacional existente en el país. Dentro del territorio Veracruzano, escurre casi una tercera parte del escurrimiento total del mismo. La población existente en el estado se compone de 22 mil localidades distribuidas en 212 municipios, por lo que resulta necesario abastecer del vital líquido a cada uno de sus habitantes, esto implica dotación y mantenimiento a los afluentes de aguas superficiales, para otorgar un agua de calidad (Houbron, 2010).

Cerca del 35% de los ríos de todo el país de México corren por la superficie del estado de Veracruz. Sin embargo, la población depende de la disposición del agua en determinados periodos estacionales, es decir a pesar de que el estado cuenta con una gran afluencia de agua, esta no está al 100% disponible a la población durante todo el año, además del gran problema de agua contaminada que se presenta la entidad, existe una baja cantidad de agua apta para el consumo humano (Hernández & Ramírez, 2018).

2.4 Usos del agua en México.

Los volúmenes concesionados a las aguas nacionales de acuerdo al Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se encuentran clasificados de acuerdo a su uso (Fig. 1).

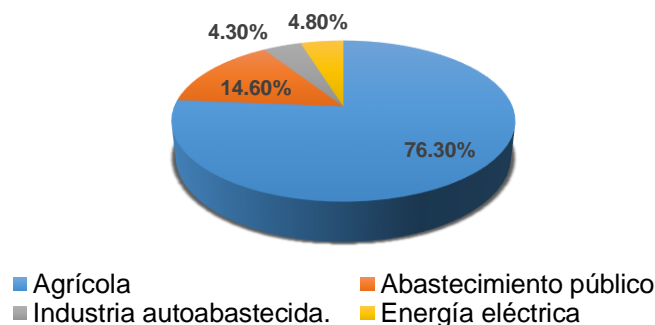


Figura 1. Distribución del agua según su uso.
Fuente: (CONAGUA, 2016).

2.5 Agua potable o agua para uso y consumo humano.

El agua potable es aquella que puede consumir el ser humano sin poner en riesgo su salud, es decir; el agua debe tener una buena calidad para su uso y consumo, por lo que es indispensable utilizar parámetros físicos, químicos y microbiológicos que determinen la calidad de la misma (Atencio, 2018).

Este recurso hídrico no debe poseer ningún parásito, microorganismo o alguna sustancia que ponga en peligro la salud humana al ser consumida, así como cumplir con los estándares especificados por la normatividad vigente por la que se rige (Galvañ & Beneyto, 2009).

En México, los servicios de agua potable y alcantarillado se encuentran a cargo de los municipios de cada entidad, hasta el año 2011 la cobertura de esta alcanzó el 91.6% en su abastecimiento (SEMARNAT, 2012).

2.6 Sistema de tratamiento de agua potable.

La finalidad primordial de un sistema tratamiento de agua potable es la de abastecer a los habitantes de una localidad con suficiente agua de la mejor calidad, teniendo en cuenta que los seres humanos constamos de un 70% de este líquido por lo que es vital para la supervivencia (Jiménez, 2013).

Un sistema de suministro de agua potable sencillo esta constituido por la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución de este vital líquido. Los procesos convencionales de agua potable pueden usar agua superficial o subterránea como fuente de abastecimiento. Las aguas superficiales son aquellas que provienen de nacimientos visibles, como los ríos, arroyos, lagos y lagunas. Al contrario las subterráneas, se refieren a las aguas provenientes de pozos y galería de captación (SENER, 2014).

Huete (2017) señala que si se tiene una buena depuración de agua en el sistema de abastecimiento se ayudará a reducir algunas enfermedades provocadas por este recurso y mejorará la calidad de vida de la población. En México, existen diferencias de servicios de suministro en zonas urbanas y rurales, por lo que se requiere incrementar y mejorarlo en las zonas rurales.

2.7 Agua residual.

Se denomina agua residual a aquellos líquidos que son provenientes del uso doméstico y su composición es variada, pueden provenir del sector poblacional general, agropecuario, industrial y comercial. (Rodríguez & Duran de Bazúa, 2006). Por lo general, su composición es 99% agua y 1% de solidos disueltos, suspendidos o coloidales. Las aguas residuales se clasifican de acuerdo a su afectación dividiéndolos de la siguiente manera: a) efectos nocivo a la salud, b) efectos nocivos al ambiente y c) repercusiones a las actividades económicas (UNESCO, 2017).

2.8 Contaminación del agua.

Sucedee cuando un cuerpo de agua sufre alguna alteración química, física o biológica, afectando composición natural por lo que pierde su pureza para su consumo diario o para la utilización de otras actividades. La cantidad del contaminante de forma general no es un problema en sí, se convierte en problema cuando el agua no es capaz de deshacerse de los contaminantes de forma natural (Pulido *et al.*, 2005).

Existen 2 formas de contaminar el agua, una de origen natural la cual se presenta en lugares específicos de gran concentración de materiales minerales y la otra de origen antrópico ocasionada en gran medida por las actividades diarias del ser humano, por uso doméstico e industrial (Álvarez, 2016).

2.9 Calidad del agua.

La calidad del agua varía con ubicación geográfica, temporada, clima, actividades humanas, condiciones específicas del sitio y la presencia de fuentes de contaminación (Haldar *et al.*, 2019). Se determina conforme a su uso, ya que para determinado sector de la población puede ser o no ser de calidad. Por ejemplo, el agua para riego debe tener baja concentración de sales, mientras que para el consumo humano baja o nula concentración de organismos infecciosos y para la producción hidroeléctrica baja carga de sedimentos (Sierra, 2011).

De acuerdo a la NOM-230-SSA1-2002 (DOF. 2002), la vigilancia de la calidad del agua es fundamental para reducir los riesgos de transmisión de enfermedades a la población por su consumo, de tipo gastrointestinal y las producidas por contaminantes tóxicos. Esto se hace tomando muestras, analizando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, también llevando un registro de muestreo de forma periódica para determinar si es viable el consumo de dicho líquido.

2.10 Parámetros físicos.

Conocer estos parámetros da una idea aproximada de la calidad del agua, se puede saber de dónde provienen y arroja información para saber si es necesario hacer un tratamiento previo antes de su uso. Entre los principales parámetros se encuentran la temperatura, conductividad eléctrica, olores y sólidos (Campos, 2003).

2.10.1. Temperatura.

El término temperatura se refiere a una unidad de medida del calor que contiene un cuerpo, expresándose en grados centígrados, el instrumento utilizado para tomar la lectura es el termómetro de mercurio o digital (García & Mantilla, 2018).

La temperatura del agua residual es mayor a la del agua de abastecimiento, debido a que la primera contiene contaminantes que aumentan ese valor, por lo que este parámetro es muy importante en el tratamiento de aguas, ya que muchos procesos biológicos dependen de este (Delgadillo *et al.*, 2010).

2.10.2. Sólidos disueltos.

Baquero & Torres (2014) menciona que los sólidos disueltos son moléculas e iones disueltos en un medio acuoso, la presencia de estos se deben a la existencia de sales minerales, gases o productos en descomposición de materia orgánica e inorgánica, metales y compuestos químicos. La concentración elevada de estos sólidos afecta el sabor, color, olor del líquido y solo pueden ser retenidos en un proceso de filtración fina a través de una membrana con poros de 2.0 μm .

2.10.3. Sólidos sedimentables.

Estos sólidos son partículas que con la acción de la gravedad se conglomeran en la base de un receptáculo, se decantan cuando el agua está en calma aproximadamente en un tiempo determinado. Exclusivamente se sedimentan los sólidos suspendidos más gruesos y de gravedad específica superior a la del agua, se expresan en mg/L (Pérez & Restrepo, 2008).

2.10.4. Conductividad eléctrica.

El presente parámetro analiza la cantidad de iones presentes en el agua, relacionándose estrechamente con la salinidad. Se define como la reciprocidad de la resistencia medida entre dos electrodos de 1.0 cm² a una distancia de 1.0 cm. Los valores se expresan en microsiemens/cm ($\mu\text{s/cm}$) o micromhos/cm ($\mu\text{Ū/cm}$) (Ruíz & Garcés, 2009).

La presencia de sustancias iónicas con carga eléctrica, hace que se conduzca electricidad incrementando la conductividad y la temperatura. Por ello, la medida de conductividad, nos da como resultado la concentración iónica del agua (Arpi & Yunga, 2017).

2.11 Parámetros Químicos.

Al igual que los parámetros físicos, estos también pueden revelar si el agua está contaminada por causa de la industrial, urbana o debido al propio tratamiento de potabilización. Así que conocerlos ayuda a controlar y regular el tratamiento que se le dará al agua para uso y consumo humano (Picó *et al.*, 2018).

2.11.1. pH.

Parámetro que se utiliza para valorar el estado acido-base de una solución, el concepto fue introducido por Sorenson en 1909, se conforma a partir del logaritmo negativo de la concentración de iones hidrogeno (H^+) o iones de hidronio (H_3O^+), de forma opuesta, es decir una solución es más acida cuando más elevado es el H^+ o el pH es bajo (Peinado *et al.*, 2013).

La medición de pH en aguas residuales y superficiales , es de vital importancia para determinar el grado de alteración de las características biológicas de los cuerpos de agua, es decir si el valor de pH no es el adecuado se hace difícil tratar por medios biológicos dichas aguas (Ramos *et al.*, 2003).

Las aguas residuales con valores de pH menores a 5.00 y superiores a 9.00 presentan un procedimiento difícil para su tratamiento biológico, es por eso que deben ser ajustadas a determinados límites permisibles para no ocasionar daño en el medio ambiente. Si se tiene un pH elevado o bajo es perjudicial para la flora y fauna del habitat, provocando la muerte y esterilidad en los afluentes de agua (Ríos, 2017).

2.11.2. Dureza Total.

El grado de concentración de sustancias disueltas en el agua depende de las estaciones del año y de la tipología de rocas o suelo existentes en la zona. Con respecto a componentes activos la concentración de iones o microcomponentes de acuerdo a su orden de importancia encontramos al Calcio (Ca), Sodio (Na), Magnesio (Mg) y Potasio (K). Sin embargo, la concentración de iones alcalinos como Ca y Mg son los que definen la dureza del agua (Neira, 2006).

La OMS (Organización Mundial de la Salud) clasifica las aguas según el grado de dureza como a continuación se muestra a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. Clasificación de las aguas según su grado de Dureza.

Concentración de CaCO₃ mg/L	Tipo
0 – 60	Blanda
61 – 120	Moderadamente dura
121 – 180	Dura
+180	Muy dura

Fuente: (Zamora, 2009).

2.11.3. Grasas y aceites.

Son contaminantes existentes en el agua, conformados por compuestos orgánicos como son: ácidos grasos de origen animal y vegetal, también pueden provenir de hidrocarburos del petróleo; presentan baja densidad, son poco solubles, sin biodegradabilidad (Restrepo *et al.*, 2007).

De acuerdo a la composición química, los aceites y grasas se clasifican en aceites minerales que provienen del petróleo y están formados por mezcla de componentes diversos. Aceites vegetales extraídos de pulpa de frutas, semillas oleaginosas, consisten principalmente en ácidos grasos insaturados y saturados. Aceites esenciales son mezclas de sustancias obtenidas de plantas muy volátiles, pueden ser líquidos o sólidos o semisólidos, suelen disolverse fácilmente en alcohol. (Rodríguez & Díaz, 2017).

Estos tipos de aceites pueden cubrir grandes cantidades de agua produciendo daño a la oxigenación agua, disminuyen el oxígeno disuelto, afectando la actividad fotosintética (Flores, 2016).

2.11.4. Alcalinidad.

Es la capacidad de neutralizar ácidos en el agua, esta se interpreta en términos de sustancias específicas cuando se conoce la composición química de la muestra. La alcalinidad de las aguas superficiales está en función del carbonato (CO_3) bicarbonato (HCO_3) hidróxido (OH), tomando como indicador la concentración de estos compuestos. A la vez también pueden incluir boratos, fosfatos, silicatos (Chacón, 2017). El grado de alcalinidad del agua, sea bajo o alto no tiene efectos nocivos para la salud humana, solo presenta un sabor desagradable para el consumidor (Cerón *et al.*, 2005).

La concentración de determinadas bases determina el grado de alcalinidad del agua. A continuación, se presentan los valores de referencia dependiendo de la concentración de la alcalinidad y su clasificación (Tabla 2):

Tabla 2. Clasificación de la Alcalinidad de acuerdo a su concentración.

Valores de los niveles de alcalinidad	
Clasificación	Alcalinidad (mg/L CaCO_3)
Muy baja	<12.3
Baja	24.6-41.0
Media	41.0-98.4
Alta	98.4-147.6
Muy alta	>147.6

Fuente: (Pancorbo, 2011).

2.11.5. Oxígeno disuelto.

A una determinada presión y temperatura existe el oxígeno disuelto, su solubilidad es inversamente proporcional a la temperatura, es decir; entre mayor sea la temperatura menor es el oxígeno y viceversa. Los valores normales se encuentran entre el 7.0 y 8.0 mg/L. siendo uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua (Pérez, 2017).

En los lagos, mares y ríos la fotosíntesis de las algas es la fuente más importante de oxigenación, la turbulencia del agua también influye en la oxigenación (Avecillas, 2013).

2.11.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Se define como la cantidad de oxígeno (O) consumida por la degradación bioquímica de materia orgánica contenida en la muestra, durante un intervalo de tiempo específico y a una temperatura determinada. Es decir, es la medida de oxígeno que usan los microorganismos para descomponer la materia orgánica, si hay desechos orgánicos en el agua el oxígeno tendrá un alto nivel de concentración por la existencia de bacterias. (Guzmán *et al.*, 2011).

La DBO es uno de los parámetros más importantes para medir la contaminación del agua y estimar el oxígeno existente en la misma; para los procesos biológicos que se desarrollan en esta e indicador en el rendimiento de dichos procesos (Hoyos & Montes, 2017).

El proceso de descomposición de la materia orgánica tiene un intervalo de 20 días, considerando; que a partir del quinto día (DBO_5) y a una temperatura de 20 °C, se obtiene un porcentaje de resultados confiables que determinan el grado de concentración del DBO (Vargas, 2010).

2.11.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La DQO es una unidad de medida de los contaminantes de aguas residuales y naturales, esta indica las toxinas y las sustancias orgánicas resistentes. Las aguas no contaminadas contienen intervalos de valores de 1 a 5 mg/L (Veritas, 2008).

Es la cantidad del oxidante específico que reacciona con una muestra en condiciones controladas. El oxidante específico es el ion dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) utilizado en el método de reflujo cerrado, este se reduce al ion cromo (Cr^{3+}) en medio sulfúrico y caliente (Villamizar, 2008).

La DQO en conjunto con la DBO, con base a sus resultados determina el grado de contaminación de las aguas y dan la posibilidad de dar paso al tratamiento biológico o físico-químico de las aguas residuales (SEMARNAT, 2013).

2.12 Parámetros microbiológicos.

Determinan la potabilidad del agua es decir; analizan la existencia de contaminantes biológicos como los coliformes fecales, huevos de helmintos, *vibro cholerae*, virus. Las normas de sanidad mencionan la necesidad de prevenir la existencia de los coliformes fecales dentro de las aguas para su uso y consumo humano. La normatividad mexicana en materia de agua muestra el grado de concentración permitido los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. (Estupiñan & Ávila, 2010)

2.11.1. Coliformes totales.

Bacterias en forma de bacilos, gramnegativos, aeróbicas y anaeróbicas, que fermentan la lactosa con producción de ácidos y gas en 24 y 48 horas a 36° C. su definición está ligada a las reacciones químicas específicas o a colonias específicas en medios selectivos o diferenciales. La presencia de las bacterias en el agua puede ser similar a la de algunos patógenos acuáticos, sin embargo no son tan resistentes como ellos y su supervivencia es más baja (Matute *et al.*, 2010).

Los coliformes totales son un indicador biológico de la presencia de otros microorganismos patógenos, debido a malos hábitos de higiene o de contaminación ambiental (Castillo, 2012).

2.11.2. Coliformes Fecales.

Son También llamados coliformes termotolerantes, debido a que soportan temperaturas a 45° grados centígrados. Son un grupo reducido de microorganismos que son indicadores de calidad, provenientes de las heces fecales. Se representan por el microorganismo *E. Coli* en su mayoría, algunos otros como *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*, estos últimos se presentan en la vegetación y ocasionalmente en el intestino (Carrillo y Lozano, 2008).

Los coliformes fecales se diferencian de los otros microorganismos que hacen parte de los coliformes totales debido a que su crecimiento abarca hasta temperaturas de 45 °C y son los principales indicadores de limpieza en los alimentos y el agua. Son capaces de fermentar lactosa y forman ácidos y gas a una temperatura de 44.5 °C en 24-48 horas están presentes en los intestinos tanto del ser humano como de animales (Lavín *et al.*, 2018).

2.13 Impacto a la salud por aguas contaminadas.

El ser humano se ve afectado directamente por aguas contaminadas, causando enfermedades como: la tifoidea, paratifoidea, colera, disenteria, enfermedades estomacales. Además de efectos agudos y crónicos causados por la presencia de metales como el plomo y mercurio en el agua que causan envenenamiento (Manahan, 2006).

Las aguas contaminadas contienen microorganismos patógenos (virus, protozoos y bacterias), originados por individuos infectados o animales domesticos o salvajes. Enfermadades como la diarrea y la gastroenteritis son de las mas comunes en la poblacion (Parga & Romero, 2013).

2.14 Marco Legal nacional en materia de aguas.

Cuando hablamos de marco legal se entiende como el conjunto de leyes o normas que hablan o regulan los requisitos que se deben cumplir el agua potable o agua para uso y consumo humano. Dentro de la norma que regula lo anterior se encuentran:

2.14.1. Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos.

- **Artículo 4:**

Párrafo quinto. “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.”

Párrafo sexto. “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.”

- **Artículo 27:**

“La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.”

2.14.2. Ley de aguas nacionales.

- **Artículo 1:**

“La presente Ley es reglamentaria del artículo 27 de la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto regular la explotación, uso y aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral y sustentable.”

2.14.3. NOM-127-SSA1-1994.

Dentro de las Normas Oficiales Mexicanas se encuentra NOM-127-SSA1-1994 de salud ambiental, agua para uso y consumo humano la cual establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Dentro de la (tabla 3) se presentan los parámetros y los límites máximos permisibles para cada uno de ellos.

Tabla 3: Límites máximos permisibles de los parámetros de acuerdo a la NOM-127-SAA1-1994.

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible
Ph		6.5-8.5
Sólidos disueltos	mg/L	1000
Materia flotante	mg/L	No detectable
Alcalinidad	mg/L	300
Dureza total	mg/L	500
Coliformes fecales	UFC/100 ml	No detectable
Coliformes totales	UFC/100 ml	No detectable
Grasas y Aceites	mg/L	Ausente

Para el parámetro de temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica no se presentan valores de límites máximos permisibles para esta norma; solo se manejan valores para aguas residuales.

CAPÍTULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Descripción de área de estudio.

Los análisis se realizaron dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en el Laboratorio de Servicios Especializados en Agua (LABSEA), cabe señalar que esta institución se encuentra ubicada en el municipio de Misantla perteneciente al estado de Veracruz.

Las tomas de muestras de agua se hicieron en las afueras de la ciudad de Tlapacoyan, Veracruz, México; sus coordenadas geográficas son 19° 58' latitud norte y 97° 13' longitud y se encuentra a una altura de 430 msnm; precipitación anual de la zona es de aproximadamente 1500 mm, existiendo en sus alrededores una vegetación de tipo bosque subtropical perennifolio por ello puede apreciarse que la zona es de mucha humedad, teniendo un clima cálido-húmedo con 18°C de temperatura promedio. Este municipio se encuentra en la zona centro montañosa de la Sierra Madre Oriental, en el que fluyen 2 ríos que llevan por nombre Totoapan y María de la Torre.

3.2 Determinación de los puntos de muestreo.

Para la elección de los puntos de muestreo, se trabajó en coordinación con las autoridades del ayuntamiento de Tlapacoyan. La variable más importante para determinación del área de muestreo fue conocer si el sitio correspondía al lugar donde se canaliza de agua hacia los sistemas de tratamiento de agua utilizada para uso y consumo humano.

Se presentan los 2 puntos de muestreo ubicados en el río Totoapan "P1" y Río María de la Torre "P2" (Fig. 2).



Figura 2. Puntos de muestreo para el análisis de calidad del agua.

3.3 Muestreo.

Se realizaron 3 jornadas de muestreo, en diferente estación del año. La primera en el mes de octubre (otoño), la segunda en el mes de febrero (invierno) y por último en el mes de julio (verano).

Se tomaron muestras simples para determinar la calidad del agua en los puntos de muestreo, usando recipientes de diferentes características para el almacenamiento dependiendo de los parámetros a evaluar.

El muestreo se llevó a cabo tomando en cuenta la norma NMX-AA-121/1-SCFI-2008, la cual establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo de ríos y corrientes con el fin de determinar sus características físicas, químicas y microbiológicas.

3.3.1. Procedimiento de toma de muestra.

La toma de muestras para los análisis fisicoquímicos se hizo con recipientes de plástico de 1 L, no fue necesario la adición de un químico para su conservación, excepto para la toma de muestra de grasas y aceites, ya que se utilizó un recipiente de vidrio boca ancha con capacidad de 1 L y posteriormente se agregaron 2 mL de ácido clorhídrico concentrado para su preservación.

Al realizar la toma de muestras de agua de río, previamente se enjuagaron 3 veces los envases. Posteriormente se colocó el recipiente en la corriente del río a una profundidad entre 0 a 30 cm, una vez recolectadas se verificó que no hubiera fugas y se colocó en una hielera para la preservación a 4° C evitando el contacto con la luz.

En la toma de muestra de agua para la evaluación de parámetros microbiológicos se usaron bolsas estériles con tiosulfato de sodio que fueron adquiridas en mercado libre.

Para todos los análisis, las botellas fueron etiquetadas indicando los siguientes datos:

- Fecha de la toma de muestra
- Hora de la toma de muestra
- Identificación del punto de muestreo
- Nombre del parámetro
- Tipo de preservación

3.4 Análisis de laboratorio.

Los parámetros a analizar se concentraron en 3 categorías:

- 1) **Físicos:** temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos (SD), sólidos sedimentables (SS), oxígeno disuelto (OD).
- 2) **Químicos:** demanda biológica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, alcalinidad y dureza total.
- 3) **Microbiológicos:** coliformes fecales y totales.

3.4.1 Análisis físicos.

- **Temperatura.**

La temperatura se determinó utilizando la metodología de la norma mexicana para análisis de agua “Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas” (NMX-AA-007-SCFI-2000). Este análisis fue realizado in situ, para ello se utilizó un termómetro de mercurio.

Procedimiento:

- Se llenó con la muestra el recipiente de plástico de 1 L.
- Se sumergió el termómetro de mercurio en el centro del recipiente y se realizaron movimientos circulares durante 1 min.
- Se esperó a que la lectura del termómetro se estabilizara y se registró la lectura.
- Se realizó este procedimiento por triplicado para verificar que la lectura de la temperatura es correcta.

- **Sólidos sedimentables.**

Se calculó tomando de referencia la norma mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013, la cual establece la medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Procedimiento:

- Se recolectó 1 L de muestra de agua a temperatura ambiente y se homogeniza.
- Se vertió la muestra homogenizada dentro de un cono Imhoff hasta llenarlo con 1L de capacidad
- Se dejó reposar 45 min hasta que los sólidos sedimentaron.
- Posteriormente se registró el volumen de sólidos obtenidos en mL/L.
- **Sólidos disueltos.**

Este parámetro se calculó in situ con un equipo portátil HANNA Instruments Hi98130™.

El procedimiento fue realizado de la siguiente manera:

- Se enjuagó con agua destilada, el electrodo de medición
- Se tomó la muestra de 1 litro de agua a temperatura ambiente
- Se encendió el equipo y poner el modo medir sólidos disueltos
- Se introdujo en la muestra el electrodo de medición
- Posteriormente se esperó a que el valor se estabilizara
- Se tomó lectura del resultado en unidades mg/L.
- **Conductividad eléctrica.**

Al igual que los sólidos disueltos, nuevamente se usó el equipo portátil HANNA INSTRUMENTS hi98130 para calcular in situ este parámetro.

Procedimiento:

- Se enjuagó con agua destilada, el electrodo de medición
- Se tomó la muestra de 1 L de agua a temperatura ambiente
- Se encendió el equipo y se puso el modo medir conductividad eléctrica
- Se introdujo en la muestra el electrodo de medición
- Se esperó a que el valor se estabilizara
- Por último se tomó lectura del resultado en unidades de MicroSiemes (μS).

3.4.2 Análisis químicos.

- **DBO₅.**

Este parámetro se evaluó tomando en cuenta el manual de usuario del aparato BODtrack II de Hach™ Hach (2010). La temperatura debe estar entre 19 y 21 °C. Después se debe elegir el volumen de muestra a agregar en una pipeta graduada con respecto a la escala de medición de DBO (Tabla 4).

Tabla 4: Volúmenes de muestras utilizados para análisis de DBO₅

Escala de medición DBO en mg L-1	Volumen de la muestra en mL
0 a 35	420
0 a 70	355
0 a 350	160
0 a 700	95

Fuente: Hach™ (2010)

Posteriormente de agregar el volumen adecuado, se transfiere el contenido de la probeta graduada a la botella del BODTrack II y se le agrega el nutriente (hidróxido de potasio). El periodo de evolución es durante 5 días.

- **DQO.**

Para la determinación de DQO no se utilizó la metodología asignada por NMX-AA-030/2-SCFI-2011 debido a los costos elevados y la falta de reactivos, por lo tanto se eligió utilizar el método de dicromato de potasio, este procedimiento sustenta el principio del método normalizado, pero además presenta la ventaja de emplear una cantidad de muestra y reactivos mucho menor.

Diversos contaminantes al entrar en contacto con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) logran oxidarse, por lo tanto es usado para la determinación de materia orgánica en residuos. Al usar la colorimetría para se fundamenta en los diferentes

espectros de absorción del Cr, el en el caso de Cr^{+6} que es de color naranja se debe tener en cuenta que la absorbancia en longitudes de onda en un rango de 440 nm y el Cr^{+3} de color verde, la absorbancia se encuentra en un rango de 600 nm permitiendo que una y otra especie se pueden detectar por separado.

- **Preparación de curva de calibrado para DQO.**

Antes de comenzar con el procedimiento de diluciones, se debe preparar la solución madre de los reactivos a ocupar:

Primero se pesaron 0.085 g del reactivo patrón de Ftalato Potásico ($\text{KC}_8\text{H}_8\text{O}_4$), y se disolvieron en agua destilada y se aforó a 100 mL. Al final la solución patrón presentó una concentración de 850 mg/L, esto equivale a decir la DQO de 850 mg/L de ftalato es de 1000 mg/L. También se preparó una solución patrón de dicromato de potasio disolviendo 0.3 g de dicromato de potasio disolviéndolos en 25 mL de agua destilada.

Posteriormente, se añadieron en 5 tubos de ensayo 0.03 g. de sulfato mercúrico (HgSO_4). Estos iones mercurio (Hg_2^+) impiden la intervención del ion cloruro (Cl^-) evitando la interferencia en la medida colorimétrica. Después el siguiente paso es rotular los tubos y agregar en ellos los siguientes volúmenes de solución patrón como lo indica la (tabla 5).

Tabla 5: Volúmenes a agregar de solución patrón para prueba DQO

	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Tubo 4	Tubo 5
$\text{KC}_8\text{H}_8\text{O}_4$	0	0.25	0.5	1	1.5
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
H_2O	1.7	1.45	1.2	0.7	0.2
H_2SO_4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
V_{total}	5	5	5	5	5

Al finalizar lo anterior, se taparon los tubos y se metieron Digestor HACH DRB™ durante 20 minutos, a una temperatura de 150 °C. Transcurrido el tiempo de digestión se sacaron los tubos para colocarlos en gradillas para esperar hasta que alcanzaron temperatura ambiente y después se realizó la determinación en un espectrofotómetro de la marca Genesys 10s a una longitud de 600 nm. Una vez que se obtienen los resultados de la desarrolló la curva de calibrado, misma que se muestra en la (tabla 6). Con la ecuación de la recta y la absorbancia de los tubos de la muestra se determinó la cantidad de DQO de las muestras.

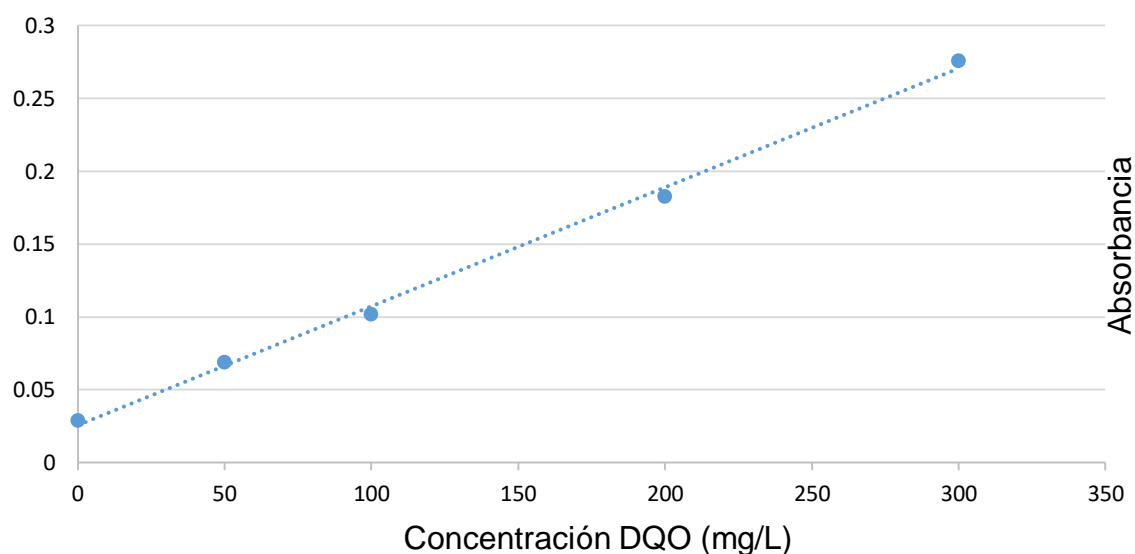


Figura 3. Curva de calibrado obtenida de concentraciones conocidas de DQO.

- **Oxígeno disuelto.**

El Oxígeno disuelto se analizó con ayuda del Test Kit de oxígeno disuelto Hi3810.

Procedimiento:

- Se enjuagaron la botella 3 veces con la muestra de agua y se llenaron por completo.

- Se añadieron 5 gotas del reactivo 1 y 2. Se cerró la botella y agitó con fuerza, después se dejó reposar por 1 minuto hasta que se forme el precipitado floculante.
- Se extrajo el tapón y posteriormente se añadieron 10 gotas del reactivo 3. Se cerró la botella y agitó con fuerza hasta que las partículas de materia se disolvieron.
- Se vertió 5 ml de la solución al vaso de plástico graduado y se puso la tapa.
- Se añadió 1 gota del reactivo 4 y se mezcló cuidadosamente moviéndolo en círculos hasta que la solución tomó un color azul violeta.
- Se introdujo dentro del reactivo 5 y se extrajo el embolo hasta la marca de 0 ml.
- Se introdujo el extremo de la jeringa dentro de la ranura de la tapa del vaso de plástico y se añadió la solución gota a gota hasta que la solución pasó de azul a incoloro.
- Se multiplicó el valor gastado de los mL de la solución de la jeringa por 10 para obtener el valor de oxígeno disuelto en mg/L (ppm).
- **Alcalinidad.**

La alcalinidad se calculó tomando de referencia la norma mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001, la cual establece los lineamientos para determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Procedimiento:

- Se transfirieron 100 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL
- Se adicionaron 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína
- Se tituló con la disolución valorada de ácido (0,02 N) hasta el viré de la fenolftaleína (de rosa a incoloro) y se registraron los mililitros gastados.
- Se adicionaron 2 gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo
- Se registraron los volúmenes para ambos puntos finales

Después calculó la alcalinidad en mg/L de CaCO₃ mediante la siguiente (ecuación 1):

$$\text{Ecuación 1: Alcalinidad total} = \frac{AxN}{100} (50)(1000)$$

Donde:

A= es el volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del anaranjado de metilo en mL;

N= normalidad de la disolución de ácido;

100= volumen de la muestra en mL;

50= es el factor para convertir eq/L a mg/L CaCO₃

1000= es el factor para convertir mL a L.

- **Dureza total.**

La dureza total se calculó tomando de referencia la norma mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001, la cual establece los lineamientos para determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Procedimiento:

- Se colocaron 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
- Se añadió 1 mL ó 2 mL de disolución amortiguadora para alcanzar un pH de 10,0 a 10,1.
- Se tituló con la disolución de EDTA 0,01 M. agitando continuamente hasta que desaparecieran los últimos matices rojizos.
- Se añadieron las últimas gotas con intervalos de 3 s a 5 s. En el punto final la muestra cambió de color rojizo a azul.
- Se registró el volumen de EDTA gastado

Posteriormente se calculó la dureza total como se indica en la siguiente (ecuación 2):

$$\text{Ecuación 2: Dureza total} = \frac{(A-B) \times C \times 1000}{D}$$

Donde:

A= mL de EDTA gastados en la titulación en la muestra

B= mL de EDTA gastados en la titulación en el blanco

C=mg de CaCO₃ equivalentes a 1 mL de EDTA

D= mL de muestra.

- **Grasas y aceites.**

Las grasas y aceites se calcularon tomando de referencia la norma mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013 la cual establece los lineamientos para determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas
Procedimiento:

- Se introdujeron los matraces balón al horno a una temperatura de 103 °C ± 2 °C.
- Después de enfriaron en desecador y se pesaron. Se repitió el procedimiento hasta obtener una diferencia de < 0,000 5 g en dos ciclos consecutivos.
- Posteriormente se colocó un papel filtro en el embudo Büchner, se puso el embudo en un matraz Kitazato, y se agregaron 100 mL de la suspensión de tierra de diatomeas-sílice sobre el filtro, se aplicó vacío y se lavó con al menos 100 mL de agua.
- Se transfirió el total de la muestra acidificada al embudo Büchner preparado, aplicando vacío hasta que cesó el paso de agua. Para determinar el volumen inicial de la muestra se vertió el filtrado en una probeta de 1 L.
- Con pinzas se transfirió el material filtrante a un cartucho de extracción. Se limpiaron las paredes internas del embudo y el frasco que contenía la muestra, con algodón previamente impregnado de disolvente (hexano).
- Se secó el cartucho en el horno a 103 °C + 2 °C, por un periodo de 30 minutos mínimo; posteriormente colocar en el equipo de extracción.
- Se adicionó el volumen adecuado de hexano al recipiente de extracción previamente puesto a masa constante y se preparó el equipo de extracción.

- Se colocó el equipo de extracción sobre la parrilla de calentamiento, se controló la temperatura del reflujo y se extrajo a una velocidad de 20 ciclos/hora durante un período de 4 h.
- Una vez terminada la extracción se recuperó la mayor cantidad del disolvente y se evaporó el remanente.
- El recipiente de extracción libre de disolvente se colocó en el desecador hasta que alcanzó la temperatura ambiente.
- Se pesó el recipiente de extracción y por diferencia de masa se midieron las grasas y aceites recuperables.

3.4.3 Análisis microbiológico.

- **Coliformes fecales y totales.**

Su evaluación fue de acuerdo a la guía de interpretación de coliformes utilizando placas de la marca 3M™ Petrifilm™ *E. coli*, las cuales son unas placas para conteo de coliformes aerobios.

Procedimiento:

- Se puso la placa en un lugar plano y levantar la pestaña
- Se pipeteó 1 ml de la muestra de agua
- Se colocó la pipeta en forma vertical evitando que la punta tocara, y se vertió la muestra en el centro de la placa inferior.
- Se desplazó la pestaña superior hacia la inferior evitando que se propagaran burbujas
- Se colocó arriba de la placa el aplicador circular para distribuir el inóculo dentro de todos los cuadrantes
- Se levantó el aplicador y se esperó 1 minuto hasta que se solidificó el gel
- Se llevó a incubar las placas cara arriba a 30° C durante 72 horas
- Se esperaron las 72 horas para verificar el crecimiento de los coliformes. Se evaluó un blanco de referencia con agua purificada.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Temperatura.

Este parámetro es de suma importancia, ya que obtener valores altos manifiestan una alta probabilidad de que las aguas provengan de procesos industriales, ya que como lo menciona Idrovo (2010), la temperatura puede intervenir retardando o acelerando las funciones biológicas, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos así como en la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

Los resultados observados en la figura 4 muestran que existen diferencias estadísticamente significativas debido a que las medias temperaturas tanto en el P1 como en el P2 no tocan el área del segundo y tercer cuartil respectivamente, el Punto 1 tiene una mediana de 20.6 °C, mientras que el punto 2 tiene una mediana de 23 °C.

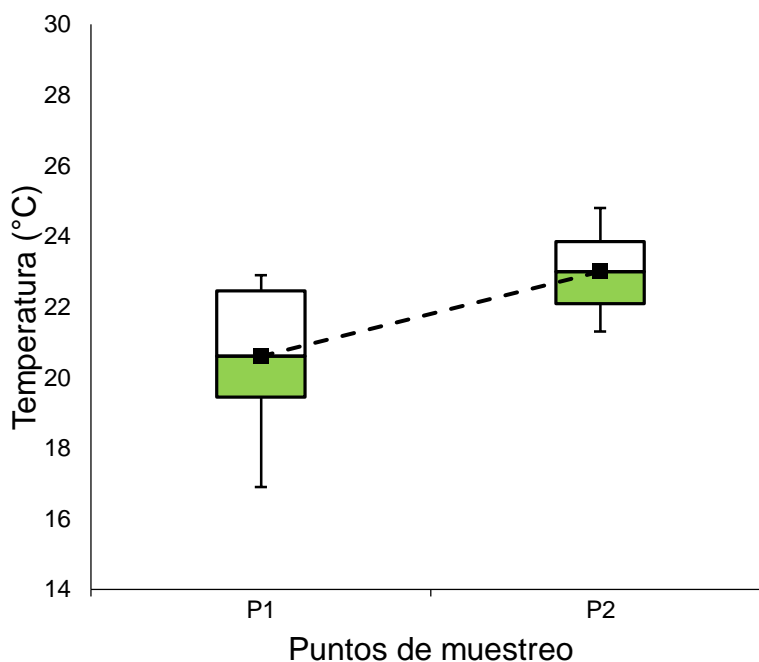


Figura 4. Resultados de los promedios de la temperatura en la evaluación de los puntos de muestro.

4.2 Sólidos disueltos.

En la figura 5, se muestran los sólidos disueltos presentes en las muestras de agua, la concentración de estos sólidos se debe principalmente a la presencia de minerales, gases producto de descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan olor, color, sabor y la toxicidad al agua que los contiene (Baquero *et al.*, 2014).

De acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 el límite máximo permisible de sólidos disueltos en las aguas de uso y consumo humano es de 1000 mg/L, que comparado con los resultados obtenidos en el Río Totoapan (P1) donde se tiene una concentración promedio de 147.66 mg/L y del Río María de la Torre (P2) con un promedio de 167.33 mg/L, se manifiesta que estos dos puntos no exceden el LMP (Límite Máximo Permisible) establecido por la NOM. No existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos de los puntos de muestreo. En los resultados de julio (verano) existió mayor concentración de sólidos disueltos esto probablemente a que en esta época se presentó la temporada de estiaje y sequía lo cual propicia menos flujos en los ríos amentando las concentraciones de estos.

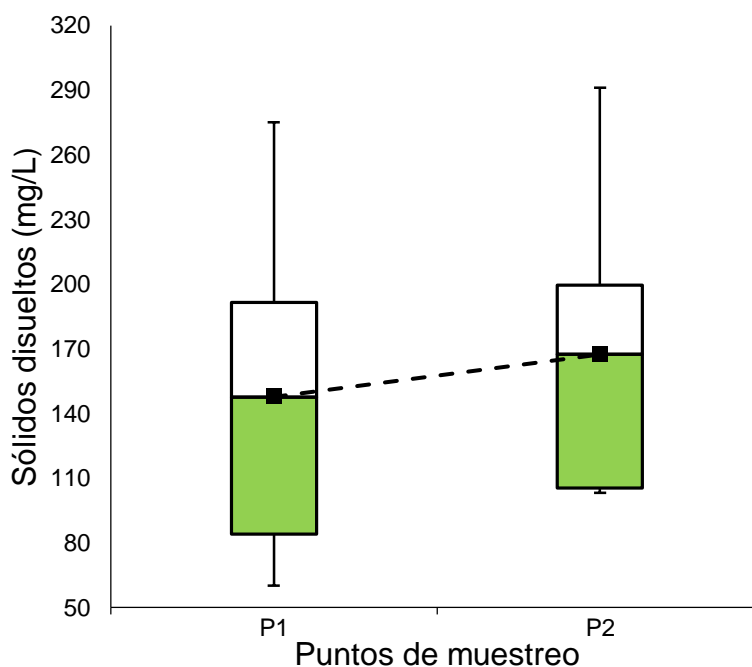


Figura 5. Resultados de los promedios de los S. D. en la evaluación de los puntos de muestreo.

4.3 Conductividad eléctrica.

Tenelanda & Muyulema (2013) especifican que la conductividad del efluente puede variar dependiendo de la temperatura, si la temperatura es más alta mayor será la conductividad eléctrica. Este parámetro tiene relación con los sólidos disueltos, ya que muestra la capacidad del agua para transportar una corriente eléctrica a través sales disueltas en el agua.

En la figura 6, se muestran los valores obtenidos de la conductividad. Para Gallego (2017) el agua para uso y consumo humano tiende a presentar valores entre 500 a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, comparado con los resultados obtenidos del (P1) con un media de 111.66 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y del (P2) con un promedio de 198.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se encuentran por debajo con lo citado de dicho autor. Se observa que hubo diferencias significativas entre los resultados promedios de cada muestreo. El valor más alto obtenido fue de 208 $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtenido en el segundo muestreo del río Totoapan y se tuvo en la temporada de febrero (invierno).

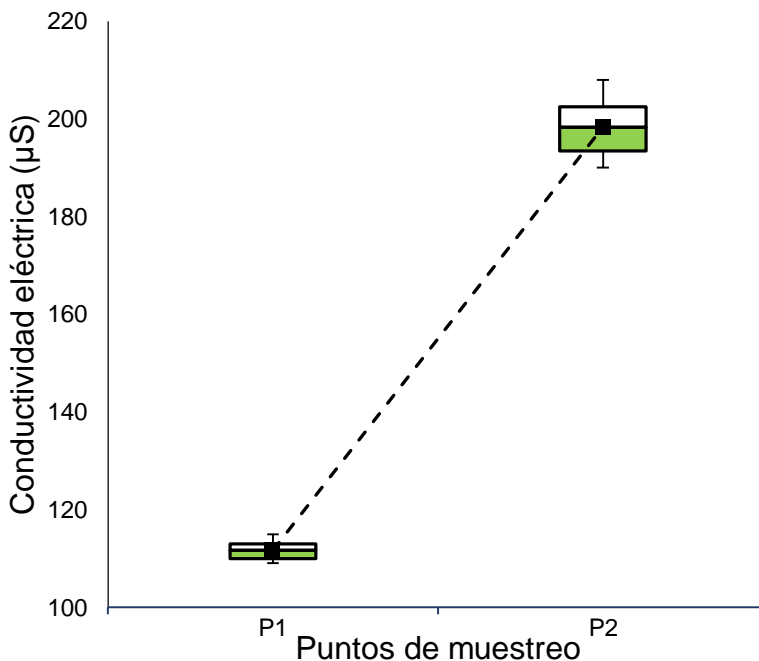


Figura 6. Resultados de los promedios de la conductividad eléctrica en la evaluación de los puntos de muestreo.

4.4 pH.

La lectura de pH se manifiesta dentro de una escala de 0 a 14, considerando un pH mayor de 7 como alcalino y menor a 7 demuestra acidez. Si se tienen resultados fuera de los límites de 6.5 a 8.5, puede revelar contaminación del agua por desechos domiciliarios o industriales (Cava & Ramos, 2016).

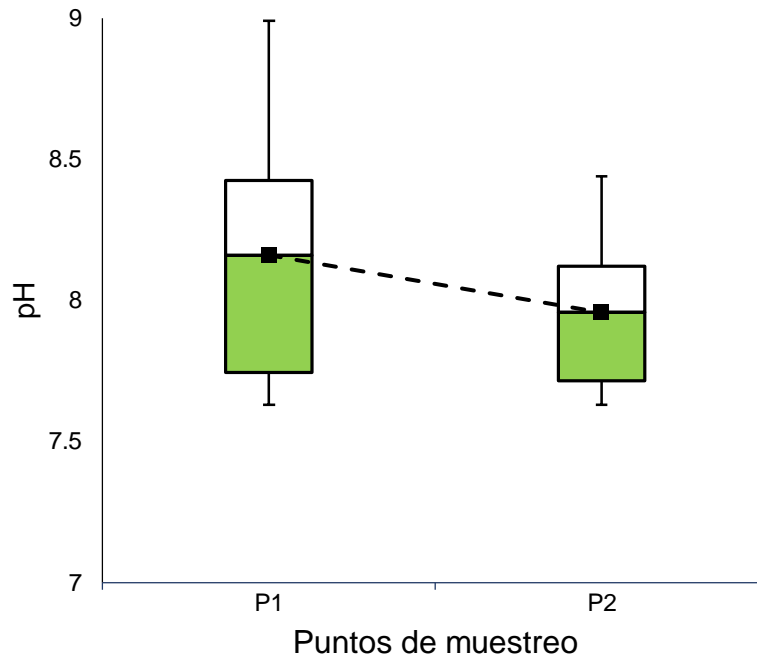


Figura 7. Resultados de los promedios del pH en la evaluación de los puntos de muestreo

En la figura 7 se muestran los resultados obtenidos en el análisis del pH. En los resultados de los puntos P1 y P2 no existen diferencias significativas, se obtuvo un promedio de 8.16 y 7.95 respectivamente, tomando en cuenta que el límite máximo permisible es de 6.5 a 8.5 de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994, se puede decir que los dos puntos cumplen con lo establecido por la NOM.

En el muestreo del mes de julio (verano) se encuentran los valores más elevados de pH tanto en el río Totoapan y María de la Torre, esto se debe a que en esa temporada había sequia provocando bajo flujo en el caudal de los ríos haciendo que el pH aumente.

Haciendo una comparación con el estudio que se hizo en la subcuenca de río Sordo del municipio Xalapa, Veracruz por (Olguín *et al.*, 2010) los cuales arrojaron resultados de pH estable entre 6.0-8.5 dentro de la norma, dicho río se encuentra en el centro del estado de Veracruz al igual que el río Totoapan y María de la Torre objetos de este estudio, estos no presentan valores anormales de pH seguramente porque en la zona no se encuentran industrias que al verter sus desechos en dichos ríos alterando este parámetro.

4.5 DBO₅.

Para (Lecca & Lizama, 2014) la DBO₅ sirve para indicar la presencia de materia orgánica en el agua, tales como descargas domiciliarias, cuando este parámetro aumenta provoca una disminución del oxígeno disuelto presente en los cuerpos de agua. En la figura 8 se muestran las concentraciones obtenidas en la DBO₅, donde el río Totoapan se encontró la mayor DBO con promedio de 32.08 mg/L, que comparándolo con la clasificación de la calidad del agua superficial que emite CONAGUA, los valores de este río entran dentro de la clasificación de agua contaminada donde maneja un criterio de 30 a 120 mg/L explicando que estas aguas provienen de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal. A su vez, el río María de la Torre tiene un promedio de 25.73 mg/L de DBO₅ que de acuerdo a la clasificación de la calidad de agua superficial dada por CONAGUA, se encuentra dentro del criterio de 6 a 30 mg/L y dentro de la clasificación como aceptable con indicio de contaminación. Entre los resultados obtenidos para dichos ríos no existe diferencia estadísticamente significativa.

El valor más alto de DBO₅ obtenido entre los dos ríos se presentó en el tercer muestreo en el mes de julio temporada de verano. Esto se debe a que en estas fechas se presentaba la época de sequía haciendo difícil la degradación del DBO debido a la baja oxigenación que había en las cuencas provocadas por el estiaje.

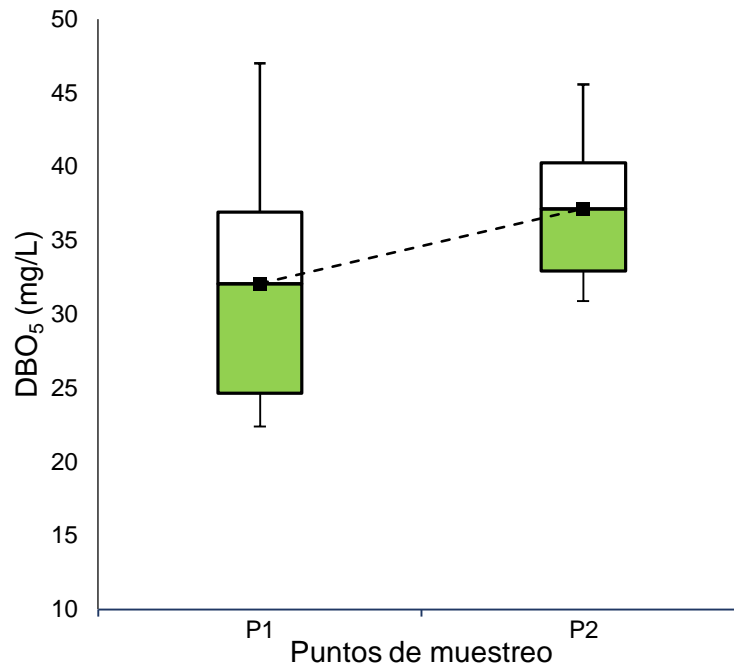


Figura 8. Resultados de los promedios de la DBO₅ en la evaluación de los puntos de muestreo

4.6 DQO.

Mediante la figura 9, se muestra la evaluación de la concentración de la demanda química de oxígeno, se valoran los resultados de la cantidad de DQO (cantidad de contaminantes orgánicos presentes en las aguas) presentes en el río Totoapan (P1) el cual tiene un promedio de 31.72 mg/L y el río María de la Torre (P2) arrojó un resultado promedio de 25.73 mg/L, que de acuerdo con la clasificación de la calidad del agua superficial de CONAGUA se observa que los valores de P1 y P2 están dentro de los parámetros aceptables con un criterio de 20 a 40 mg/L, donde este indica que las aguas cuentan con indicio de contaminación ya que son aguas superficiales con capacidad de autodepuración o descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. En los resultados obtenidos para cada río presentaron diferencias estadísticamente significativas.

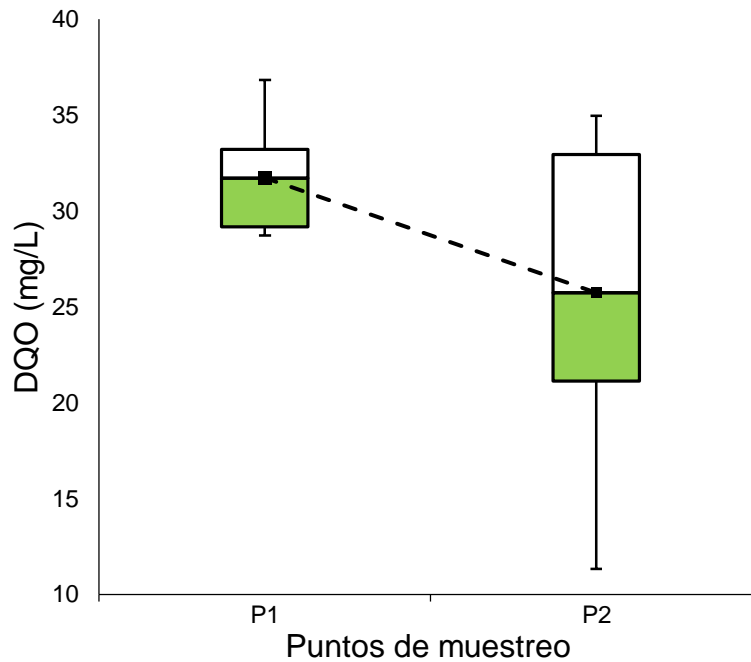


Figura 9. Resultados de los promedios de la DQO en la evaluación de los puntos de muestreo.

4.7 Dureza total.

Este parámetro constituye la suma de la concentración de calcio y magnesio, en menos presencia la de los iones de estroncio, bario o metálicos, la presencia de estas sales en el agua depende del suelo donde provienen. Sin embargo para la salud humana no representa una amenaza para la salud, solo puede crear que el agua sea inconveniente para usos domésticos e industriales (Simanca *et al.*, 2017).

En la figura 10 se muestra que el valor de dureza más elevado se encontró en el río María de la Torre con una media de 2008 mg/L, mientras que la concentración más baja es de 1466.5 mg/L perteneciente al Río Totoapan, ambos resultados exceden los límites máximos permisibles son 500 mg/L de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994, por lo que las aguas de dichos afluentes no cumplen con los límites permitidos con establecido. En los resultados de cada punto existen diferencias estadísticamente significativas.

La presencia de dureza total en el agua se debe principalmente al tipo de rocas y de suelo existentes a través de los cauces (Calle & Yerovi, 2016). En el río María de la Torre se obtuvieron los resultados más altos de la dureza total esto posiblemente a que en el muestreo se observó presencia de rocas carbonáticas en la cuenca, lo que explica los altos contenidos de calcio y magnesio en las aguas.

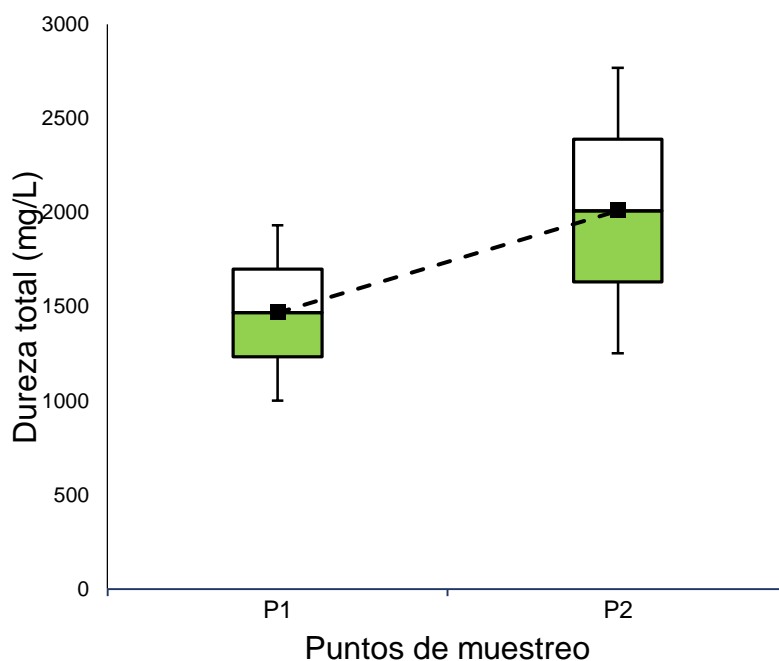


Figura 10. Resultados de los promedios de la dureza total en la evaluación de los puntos de muestreo.

4.8 Alcalinidad.

Santiago (2010) menciona que la alcalinidad es la propiedad del agua para aceptar protones o neutralizar los ácidos. Este parámetro se refiere la presencia de carbonatos, hidróxidos y principalmente bicarbonatos en este líquido. A pesar de esto, los de ácidos débiles pueden estar presentes en la alcalinidad como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos.

La figura 11 presenta el valor promedio obtenido de este parámetro, para el P1 asociado al río Totoapan se muestra una concentración de 98.66 mg/L, mientras que para el P2 ligado con el río María de la Torre se arrojó una concentración más alta con un promedio de 128 mg/L. comparándolo con los criterios ecológicos de la calidad del agua emitido por SEMARNAT que indica un nivel máximo de 400 mg/L se determinó que el agua cumple con los niveles de alcalinidad. Los resultados muestran que existen diferencias estadísticamente significativas debido a que las medias la alcalinidad tanto en el P1 como en el P2 no tocan el área del segundo y tercer cuartil respectivamente.

Los valores más altos de alcalinidad en los dos ríos se presentaron en la época de verano durante el muestreo del mes de julio. Esto se puede deber a que en esta época se presentó la temporada de estiaje y sequía lo cual propicia que el caudal de los río disminuya amentando las concentraciones de estos.

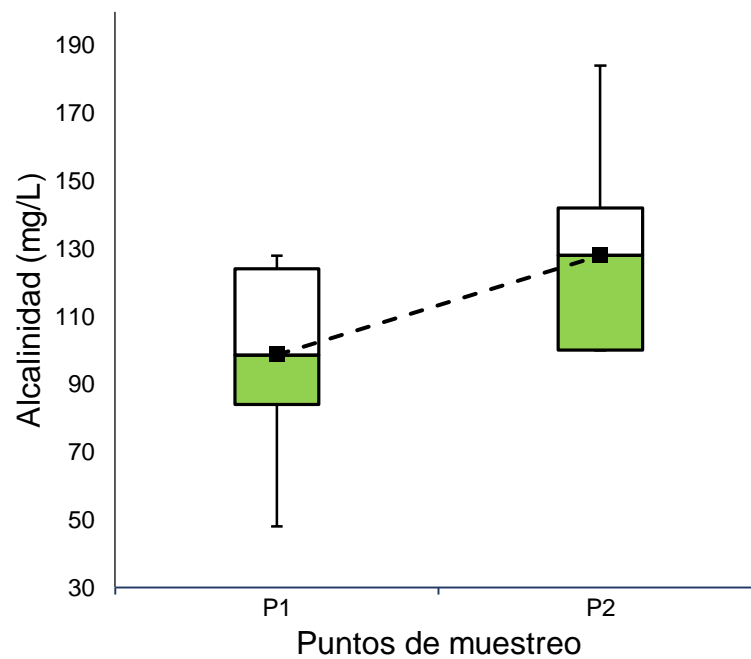


Figura 11. Resultados de los promedios de la alcalinidad en la evaluación de los puntos de muestreo

4.9 Oxígeno disuelto.

Este indica el efecto que producen los contaminantes orgánicos en los cuerpos de agua, así como muestra la capacidad con la que cuenta el agua para conservar con vida a la biota y la virtud para autodepurarse (Chán & Peña, 2015).

En la figura 12 se evidencian los resultados promedios del oxígeno disuelto en los muestreos. Se obtuvo un valor de 10 mg/L para el Río Totoapan (P1) mientras que para el río María de la Torre (P2) un resultado de 9.13 mg/L, Roldan (2013) indica que un valor normal de oxígeno disuelto para agua superficial va de 7 a 10 mg/L que al compararlo con los resultados obtenidos observa que se encuentran dentro de los valores mencionados por dicho autor.

Al haberse encontrado valores elevados de oxígeno disuelto debido a las bajas temperaturas del agua y la turbulencia de la corriente, este te puede afectar a la alcalinidad puesto que una alta oxigenación puede producir compuestos ácidos o alcalinos lo que influiría en un aumento de este parámetro.

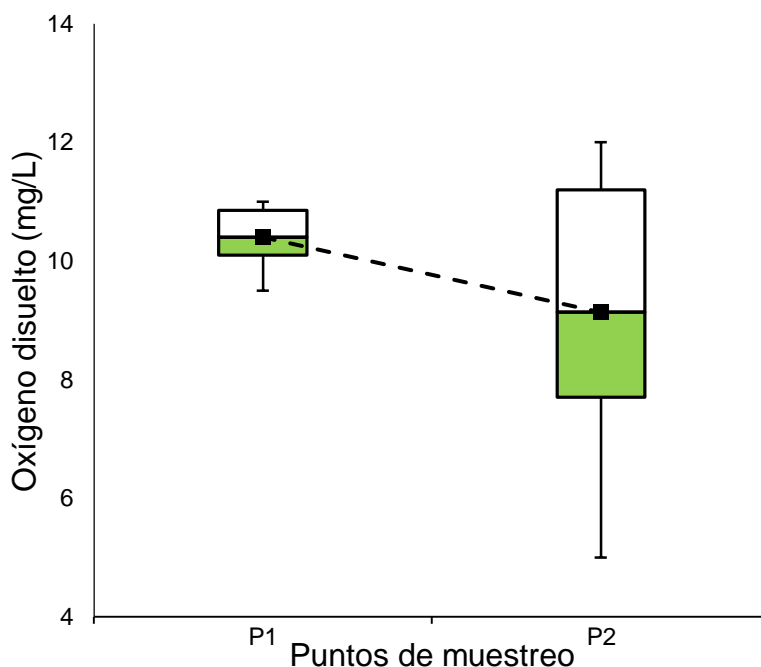


Figura 12. Resultados de los promedios del oxígeno disuelto en la evaluación de los puntos de muestreo.

4.10 Grasas y aceites.

Para este parámetro se obtuvieron 0 mg/L en los análisis realizados, comparando el resultado con la normatividad Mexicana NOM-127-SSA1-1994 la cual indica que estos deben de estar AUSENTES en el agua potable, se puede afirmar en base valor obtenido que dicho parámetro cumple favorablemente con esta NOM.

Las de grasas y aceites pueden provenir de desechos alimentarios en desechados por en las casas habitaciones, también se puede encontrar de los aceites minerales que proceden de otras actividades; provocando natas y espumas en la superficie del agua (Olivo *et al.*, 2010).

4.11 Coliformes.

Los resultados se obtuvieron conforme a la metodología 3M Petrifilm. En la figura 13 se observan los resultados con presencia de coliformes, la imagen A presenta los resultados de los análisis del agua del Río Totoapan en el primer muestreo arrojando datos positivos, ya que se observa la presencia de puntos rojos y azules dentro de la placa (cada punto indica una colonia), estos últimos indican la presencia positiva coliformes fecales.

La figura 13B presenta los resultados del segundo muestreo, y nuevamente se manifestó un comportamiento similar a la figura 13A, debido a que hubo presencia de colonias coliformes totales y pequeñas colonias de coliformes de origen fecal.

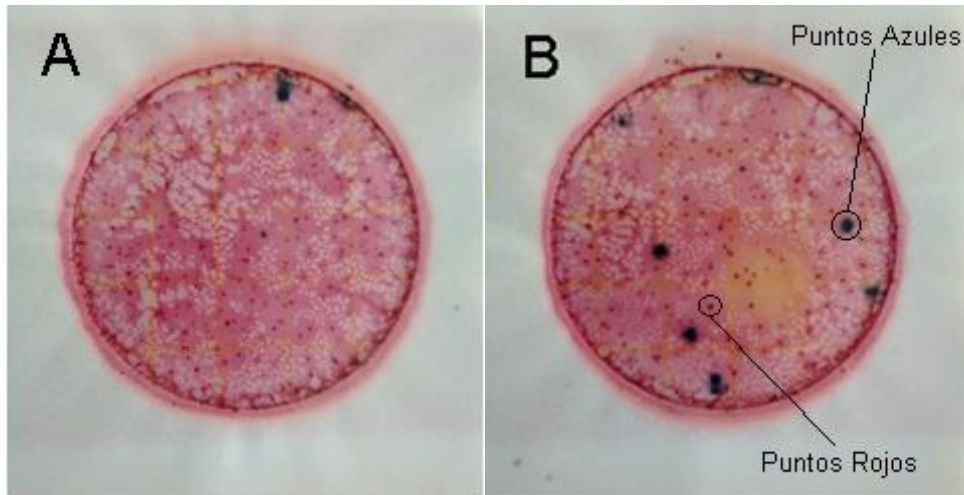


Figura 13: Resultados en el análisis coliformes en el Río Totoapan (P1). A) Resultados primer muestreo B) Resultados Segundo muestreo.

En esta figura 14 se muestran los resultados con presencia de coliformes en el Río María de la Torre. En la figura 14A se observa presencia de colonias de coliformes fecales representada por puntos de color azul y las colonias de coliformes totales mostrados con los puntos rojos. Esta misma situación se puede observar en la figura 14B, en ella se muestran los resultados del segundo muestreo, donde indica presencia de coliformes totales y fecales.

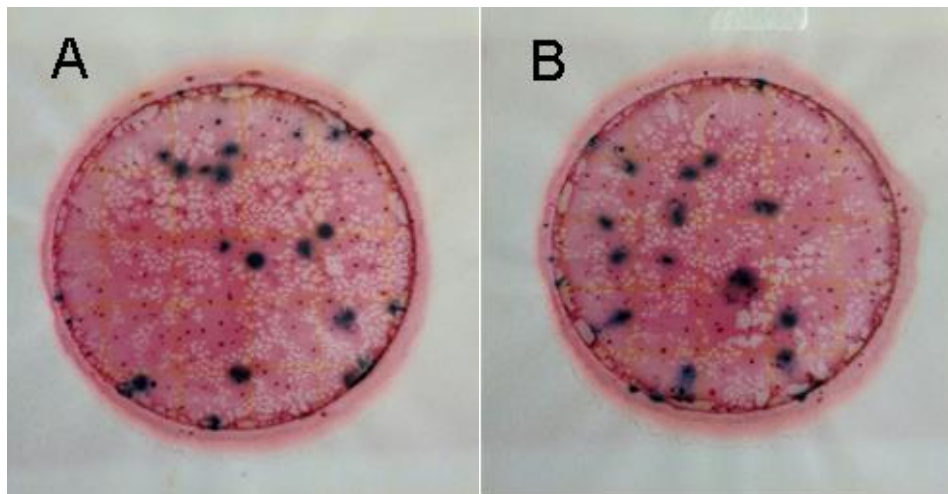


Figura 14. Resultados en el análisis coliformes en el Río María de la Torre (P2). A) Resultados primer muestreo B) Resultados Segundo muestreo.

La NOM-127-SSA1-1994 menciona que los índices de coliformes totales y fecales deben de ser no detectables o negativos, sin embargo tanto en el Río Totoapan y María de la Torre los resultados fueron positivos, esto asociado mayormente a que en el trayecto de las partes altas del río se reciben directamente las aguas residuales domésticas de las comunidades. Por lo anterior se demuestra que dichos ríos están fuera de norma.

CAPITULO V. CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos en el estudio de la evaluación físico-química y microbiológica de las aguas del río Totoapan y María de la Torre, los cuales abastecen de agua potable al municipio de Tlapacoyan Veracruz. Se concluye que existen 2 parámetros que no cumplen lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994 y los criterios ecológicos de calidad del agua de CONAGUA, los cuales se mencionan a continuación:

Los coliformes totales y fecales se hicieron presentes en el análisis del agua de los ríos Totoapan y María de la Torre, esto pudiera ser a la gran cantidad de aguas residuales vertidas río arriba en el trayecto de éstos.

El parámetro de dureza total sobrepaso el límite permitido de la norma NOM-127-SSA1-1994, la presencia de estos resultados la dureza total se debe al tipo de rocas carbonáticas y suelo existentes en el cauce.

Los parámetros que en este estudio si cumplieron con los límites físico-químicos y microbiológicos establecidos en las normas arriba citadas fueron oxígeno disuelto, alcalinidad, temperatura, pH, conductividad eléctrica, grasas y aceites, sólidos disueltos, DQO y DBO₅.

Se concluye que el agua de los Ríos Totoapan y María de Torre tienen altos contenidos de coliformes totales y fecales, así como dureza total los cuales no cumplen con las normas establecidas, por lo que se recomienda implementar un sistema de potabilización que permita eliminar o reducir estos parámetros.

BIBLIOGRAFÍA.

- Álvarez Martínez, O. (2016). La hidrosfera y el ciclo del agua. La contaminación del agua. Métodos de análisis y depuración y el problema de la escasez de agua. *Publicaciones Didácticas*, 72(1), 112-116.
- Arpi Barrera, J. A., & Yunga Guamán, M. J. (2017). Evaluación de la calidad de agua de los sectores Corazón de María y Zhirincay de la Junta Administradora de agua potable Regional Bayas del Cantón Azogues. Tesis Pregrado Bioquímico Farmacéutico. Universidad Cuenca Ecuador.
- Avecillas Arellano, L. A. (2013). Caracterización físico químico del Estero Salado entre el puente de la avenida Kennedy y el Puente 5 de junio efectuado en el período agosto-octubre del año 2012. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.
- Baque Mite, R., Simba Ochoa, L., Gonzalez Osorio, B., Suatunce, P., Diaz Ocampo, E., & Cadme Arevalo, L. (2016). Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador.
- Baquero, A. & Torres, A. (2014). Estudio de tratabilidad de las aguas residuales en Bogotá con lodos activados: Aspectos de monitoreo en continuo, caracterización detallada, modelación y simulación del proceso. Pontificia Universidad Javeriana.
- Calle, G., & Yerovi, A. (2016). Determinación y disminución de dureza total en el agua potable de la ciudad de machala mediante ósmosis inversa.
- Campos Gómez, I. (2003). Saneamiento ambiental. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica. 227 p.
- Carrillo Zapata, E. M., & Lozano Caicedo, A. M. (2008). Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar Chromocult. Tesis de Pregrado en Microbiología. Universidad Javeriana Bogotá.
- Castillo, J. H. H. (2012). Evaluación de la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula. Tesis Pregrado Química Biológica. Universidad de San Carlos Guatemala.
- Cava Suárez, T., & Ramos Arévalo, F. D. R. (2016). Caracterización físico-química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad Las Juntas del distrito

- Pacora–Lambayeque, y propuesta de tratamiento. Tesis de Pregrado en Ingeniería Química. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.
- Cerón, Á. A. C., Vidal, A. P., & Lozada, P. T. (2005). Importancia del pH y la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. *Scientia et technica*, 11(27), 243-248.
- Chán Santisteban, M. L., & Peña, W. (2015). Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala. *Cuadernos de Investigación UNED*, 7(1), 19-23.
- Chacón Chaquea, M. (2017). Análisis físico-químico de la calidad del agua. Edición USTA.
- Comisión Nacional del Agua (2015). Criterios ecológicos de calidad del agua. Recuperado https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/145524/Monitoreo_de_calidad_de_l_agua_en_M_xico_2012-2015.pdf
- CONAGUA (2008). Estadísticas del agua en México 2008. Recuperado de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM_2008.pdf.
- CONAGUA (2014). Estadísticas del agua en México 2014. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>.
- CONAGUA (2017). Estadísticas del agua en México 2017. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf
- Delgadillo O, Camacho A. & Pérez L. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Nelson Antequera. 106 p.
- Díaz, J. J. G. (2008). Influencia de la temperatura en las propiedades micelares de sales cuaternarias de amonio en disolución acuosa. Universidad Santiago de Compostela.
- Estupiñán Torres, S., & Avila de Navia, S. (2010). Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. *NOVA*, 8(14).
- Flores, P. A. (2016). Evaluación del monitoreo multitemporal de las aguas residuales y aguas superficiales en el astillero del Servicio Industrial de la Marina Iquitos (SIMAI) río Nanay-Loreto-Perú.

- Gallego, J. M. R. (2017). Montaje de redes de distribución de agua. ENAT0108. IC Editorial.
- Galvañ, P. J. V., & Beneyto, M. S. (2009). Curso de manipulador de agua de consumo humano. Universidad de Alicante.
- García Carrillo, D. A. & Mantilla, M. (2018). Evaluación de la calidad sanitaria del agua de consumo intradomiciliaria en la Cooperativa Virgen del Cisne en Guayaquil. Tesis de Posgrado. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas.
- García Pamela U. (2018). El agua en Mexico. Noticias de Divulgación Meteored.
- Guzmán Colis, G., Thalasso, F., Ramírez López, E. M., Rodríguez Narciso, S (2011). Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. Revista internacional de contaminación ambiental, 27(2), 89-102.
- Hach (2010) Manual De Usuario BODTrak™ 02/2010, Edición 2
- Haldar, K., Kujawa-Roeleveld, K., Dey, P., Bosu, S., Datta, D. K., & Rijnaarts, H. H. M. (2019). Spatio-temporal variations in chemical-physical water quality parameters influencing water reuse for irrigated agriculture in tropical urbanized deltas. Science of The Total Environment, 134559.
- Hernández, S. A. & Ramírez, M. (2014). Nuestro medio. Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana. Volumen XXVII número 2.
- Houbron, Eric. (2010). Calidad del agua. Cdigital Universidad Veracruzana 151-152.
- Hoyos, C. A. B., & Montes, G. Á. (2017). Demanda de oxígeno por sedimentos en diferentes tramos del río Negro Rionegro, Antioquia, Colombia. 12(2).
- Huete Huarcaya, D. A. (2017). Evaluación del Funcionamiento del Sistema de Agua Potable en el Pueblo Joven San Pedro, Distrito de Chimbote-Propuesta de Solución–Ancash–2017.
- Idrovo, C. (2010). Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucun. Tesis pregrado en Química Farmacéutica. Universidad de cuenca Ecuador.
- Jiménez, J. (2013). Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana. México-2010.

- Lavín Millar, L. I., Larenas Moyano, C. E. & Obreque, F. D. (2018). El problema de la contaminación de los cuerpos de agua en la comuna de Laja. Determinación de parámetros bioquímicos y físicos en la Laguna Señoraza y su posible aplicación en el aula. Universidad de Concepción Campus Los Ángeles.
- Lecca, E. R., & Lizama, E. R. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80.
- Manahan, S. E. (2006). *Introducción a la química ambiental*. Reverté.
- Mancheno Domínguez, G. A., & Ramos Rosero, C. A. (2015). Evaluación de la calidad del agua en la quebrada Huarmiyacu del cantón Urcuquí, provincia de Imbabura para el prediseño de la planta de potabilización de agua para consumo humano de las poblaciones de San Blas y Urcuquí. Tesis Pregrado. Escuela Politécnica Nacional de Quito.
- Manual 3M™ Petrifilm™ (2018). Placa para Recuento de Aerobios.
- Matute Cordero, M. X., Sarmiento Crespo, J. C., & Valdez Arcentales, S. V. (2010). Control Físico-Químico y Microbiológico del agua según INEN 1108: 2006 de la junta de agua potable regional Cojitambo (Bachelor's thesis).
- Montes, R. T., Navarro, I., Domínguez, R., & Jiménez, B. (2013). Modificación de la capacidad de autodepuración del río Magdalena ante el cambio climático. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(5), 71-83.
- Muñoz Cruz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Neira, M. (2006). Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile. Memoria de Ingeniería Civil. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- NOM-127-SSA1-1994. "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano la cual establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".
- NOM-230-SSA1-2002. "Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua."

- Olivo, A. V., Magallanes, M. Y. L., & Sandoval, M. G. C. (2010). Extracción de grasas y aceites en los efluentes de una industria automotriz. *Conciencia tecnológica*, (40), 29-34.
- Olguín, E. J., González-Portela, R. E., Sánchez-Galván, G., Zamora-Castro, J., & Owen, T. (2010). Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 1(2), 178-190.
- ONU (2014). Calidad del agua. Recuperado de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Ortega, M. L., Flores, G. P., Solís, A. S., Oyarzún, J. C. G., Monks, W. S., & Jiménez, M. A. L. (2012). Evaluación estacional de las variables fisicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3), 713-719.
- Pancorbo, F. J. (2010). Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación. Marcombo.
- Parga, M. E., & Romero, R. C. (2013). Ecología: impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el ambiente. Eco ediciones.
- Peinado, P. J., Calvo Bruzos, S. C., Gómez Candela, C., & Iglesias Rosado, C. (2013). Alimentación y nutrición en la vida activa: ejercicio físico y deporte. Editorial UNED.
- Pérez Manrique, N. (2017). Simulación Matemática de la Interacción entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y el Oxígeno Disuelto (OD) en el Río Chili con el Método de los Elementos Finitos. Tesis Posgrado Ingeniería Química. Universidad Nacional de San Agustín.
- Pérez, G. R., & Restrepo, J. J. R. (2008). Fundamentos de limnología neotropical (Vol. 15). Universidad de Antioquia.
- Picó, A. G., Yagüe, J. C. B., Mayor, M. A. G., & González, G. P. (2019). Criterios de calidad y gestión del agua potable. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Pulido, P. A., Sara, L. A., Sandra, E. T. & Prieto, A. C. G. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA Publicación en Ciencias Biomédicas*, 3(4), 69-79.

- Ramos, R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2003). El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. Mexicali, México. 204 p.
- Real Academia Española. (2018). Definición de Agua. Diccionario de la lengua española. Madrid, España.
- Restrepo, I., Sánchez, L., Galvis, A., Rojas, J., & Sanabria, I. (2007). Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio. Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Ríos Tobón, S., Agudelo Cadavid, R. M., & Gutiérrez Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 35(2), 236-247.
- Rivera-Rodríguez, D. A., Beltrán-Hernández, R. I., Lucho-Constantino, C. A., Coronel-Olivares, C., Hernández-González, S., Villanueva-Ibáñez, M., Vázquez-Rodríguez, G. A. (2018). Water quality indices for groundwater impacted by geogenic background and anthropogenic pollution: case study in Hidalgo, Mexico. International Journal of Environmental Science and Technology.
- Rodríguez Álvarez, E. J., & Díaz Vásquez, R. K. (2017). Estudio Preliminar de la Calidad del Agua en Tres Puntos de la Quebrada " La Palmara" y la Presencia de Contaminantes: Aceites, Grasas, Hidrocarburos y Detergentes en la Bocatoma. Doctorado. Universidad de Cundinamarca.
- Rodríguez-Momroy, J., & Durán-de-Bazúa, C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. Tecnología, Ciencia, Educación, 21(1), 25-33.
- Roldán Pérez, G. A. (2013). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP Col. Universidad de Antioquia.
- Ruíz, A. A., & Garcés, F. (2009). Influencia de la conductividad eléctrica en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. Producción Limpia, 4(2), 54-64.
- Santiago Escobar, R. (2010). Análisis fisicoquímico y bacteriológico de agua para uso humano en el municipio de Saltillo, Coahuila, México. Tesis de Pregrado. Universidad Antonio Narro.

- SEMARNAT (2012). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.
- SEMARNAT (2013). Calidad del agua. El medio ambiente en México. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.html.
- SENER (2014). Sistema de agua potable. Bombeo de agua potable municipal estados y municipios. Recuperado de <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/sistemas-de-agua-potable-sistemas-de-agua-potable-bombeo-de-agua-potable-municipal-estados-y-municipios?state=published>.
- Sierra Ramirez, C. A. (2011). Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. Sello Editorial de la Universidad de Medellín.
- Simanca, M. M., Álvarez, B. E., & Paternina, R. (2017). Calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el municipio de Montería.
- Tenelanda, F., & Muyulema, J. (2013). Optimización de la unidad de floculación y calidad, microbiológica y físico-química del agua del sistema de abastecimiento de la parroquia. Tesis de bioquímica. Universidad de Cuenca.
- UNESCO (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Aguas residuales: El recurso desaprovechado.
- Vargas Meneses, C. (2010). Análisis de bacterias comunes en plantas de tratamientos de diferentes efluentes que son indicadores de alta eficiencia en remoción de contaminantes. Tesis de posgrado en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.
- Veritas, B. (2008). Manual para la formación en Medio Ambiente. Editorial: LEX NOVA.
- Villamizar, M. P. (2008) Estandarización de métodos analíticos usados para el análisis de agua en el laboratorio del centro de estudios e investigaciones ambientales-CEIAM. Tesis pregrado de Química. Universidad Industrial de Santander.
- Zamora, J. R. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela. Pensamiento Actual, 9(12), 125-134.