UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Región Poza Rica - Tuxpan

Maestría en Ciencias del Ambiente

TRABAJO DE INTERVENCIÓN

“Evaluación de la calidad del agua del río Laxaxalpan, para abastecimiento público en Filomeno Mata, Veracruz”

P R E S E N T A

Ing. David Márquez Mateo

Director

Dr. Eduardo Alfredo Zarza Meza

Co- Director

Dra. María Rebeca Rojas Ronquillo

Tuxpan, Veracruz enero, 2019

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, a 26 de noviembre de 2018.

Dr. José Luis Alanís Méndez
Coordinador de la Maestría en Ciencias del Ambiente

El presente trabajo de intervención titulado "**Evaluación de la calidad del agua del río Laxaxalpan, para abastecimiento público en Filomeno Mata, Veracruz**", realizado por el Ing. David Márquez Mateo, bajo la dirección del Dr. Eduardo Alfredo Zarza Meza y consejo particular de la Dra. María Rebeca Rojas Ronquillo, ha sido revisado y aprobado como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS DEL AMBIENTE

Dr. Eduardo Alfredo Zarza Meza

Director

Dra. María Rebeca Rojas Ronquillo

Codirector

Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE

Revisión del Trabajo de Intervención del alumno: ING. **David Márquez Mateo**

JURADO EXAMINADOR

NOMBRE	FECHA	DICTAMEN	FIRMA
Rosa Idalia Hernández Herrera	4/Dic/2018	Aprobado	
Pablo San Martín Del Angel	04/Dic/2018	Aprobado	
JORDÁN GUTIÉRREZ VIVANCO.	4/DIC/2018	Aprobado	

En la presente revisión se acordó que el Trabajo de Intervención denominado "**Evaluación de la calidad del agua del río Laxaxalpan, para abastecimiento público en Filomeno Mata, Veracruz.**" que presenta el sustentante para obtener el Grado de Maestro, está terminado por lo que puede proceder a su inmediata impresión.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por otorgarme una beca para poder realizar mis estudios de posgrado.

A la **Universidad Veracruzana**, por darme la oportunidad de seguir formándome profesionalmente y pertenecer a esta casa de estudios durante estos años. A la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias por abrirme sus puertas y a los docentes de los cuales aprendí grandes lecciones.

A la Facultad de Ciencias Químicas de Poza Rica por otorgarme las facilidades para llevar acabo mi trabajo en el Laboratorio de Investigación.

Al Dr. Eduardo Alfredo Zarza Meza y a la Dra. María Rebeca Rojas Ronquillo, que fungieron como Director y Co-Director, por sus consejos y todo el apoyo brindado para llevar a buen término el presente trabajo de intervención.

A la comisión revisora integrado por la Dra. Rosa Idalia Hernández Herrera, el Dr. Pablo San Martin Del Ángel y el M.C. Jordán Gutiérrez Vivanco, por todas sus observaciones, sugerencias y comentarios, que sin duda alguna favorecieron a mejorar, enriquecer y fortalecer este trabajo.

A la M.C. Luz Nalleli Chávez Martínez por todo el apoyo brindado en el Laboratorio de Investigación, así como por sus comentarios y sus consejos.

Al Dr. Juan Manuel Pech Canché y al Dr. Noé Velázquez Rosas por sus atinados comentarios, por el apoyo brindado y por las sugerencias que abonaron al desarrollo del presente trabajo.

Dedicatoria

A mi esposa ***Josefa*** por todo el amor, por creer en mí y el apoyo incondicional que siempre me brindas.
Eres el amor de mi vida.

A mis padres por todo lo que me han dado.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN i

I. INTRODUCCIÓN 1

II. ANTECEDENTES 3

2.1. La calidad del agua 3

2.2. Agua superficial en Veracruz 7

2.3. Problemática del agua en el municipio de Filomeno Mata, Veracruz 10

III. OBJETIVOS 13

3.1. General 13

3.2. Particulares 13

IV. MATERIAL Y MÉTODOS 14

4.1. Descripción del área de estudio 14

4.2. Toma de muestras 18

4.3. Análisis de muestras 18

4.4. Índice de calidad del agua 23

4.5. Análisis estadístico 26

4.5.1 Variación de los parámetros físico-químicos, bacteriológicos e ICA 26

4.5.2 Análisis de los componentes principales (PCA) 26

V. RESULTADOS 28

5.1. Parámetros físico-químicos y bacteriológicos obtenidos 28

5.2. Índice de calidad del agua (ICA) para los sitios de muestreo 35

5.3. Variabilidad de los parámetros que determinan la calidad del agua 36

VI. DISCUSIÓN 40

VII. CONCLUSIONES 48

7.1. Aplicaciones prácticas del trabajo de intervención 50

VIII. BIBLIOGRAFÍA 52

Anexo I 69

Anexo II 74

Anexo III 77

Índice de cuadros

Cuadro 1. Parámetros ICA de Brown - NFS.....19

Cuadro 2. Pesos establecidos para los parámetros del ICA.....25

Cuadro 3. Clasificación del ICA de Brown – NFS.....25

Cuadro 4. Prueba de Mann-Whitney para las temporadas atmosféricas.....36

Cuadro 5. Matriz de correlaciones 37

Cuadro 6. Varianza total explicada 37

Cuadro 7. Matriz de componente rotado 38

Cuadro 8. Media y desviación estándar de los parámetros del Sitio 1. 74

Cuadro 9. Media y desviación estándar de los parámetros del Sitio 2. 75

Cuadro 10. Media y desviación estándar de los parámetros del Sitio 3. 76

Cuadro 11. ICA media y desviación estándar por sitio y muestreo.....77

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de Filomeno Mata, Veracruz. 15

Figura 2. Promedio diario de lluvia y temperatura media, por mes en la zona de estudio. 16

Figura 3. Localización de los sitios de muestreo. 17

Figura 4. Variación espacio-temporal de la temperatura 28

Figura 5. Variación espacio-temporal del pH 29

Figura 6. Variación espacio-temporal de los nitratos 30

Figura 7. Variación espacio-temporal de los fosfatos 31

Figura 8. Variación espacio-temporal de la DBO_5 31

Figura 9. Variación espacio-temporal del oxígeno disuelto 32

Figura 10. Variación espacio-temporal de los sólidos disueltos totales 33

Figura 11. Variación espacio-temporal de la turbiedad 34

Figura 12. Variación espacio-temporal de los coliformes fecales 34

Figura 13. Valores de ICA por sitio y muestreo 35

Figura 14. Gráfico de componentes en espacio rotado 39

Figura 15. Curva de función de cambio de temperatura 69

Figura 16. Curva de función de pH 70

Figura 17. Curva de función de nitratos 70

Figura 18. Curva de función de fosfatos 71

Figura 19. Curva de función de DBO_5 71

Figura 20. Curva de función de oxígeno disuelto 72

Figura 21. Curva de función de solidos disueltos totales.....72

Figura 22. Curva de función de turbiedad 73

Figura 23. Curva de función de coliformes fecales.....73

RESUMEN

El presente estudio se realizó en un tramo del río Laxaxalpan con el objetivo de evaluar espacial y temporalmente la calidad del agua, que se utiliza como fuente para abastecimiento público. El índice de Brown – NFS fue utilizado para evaluar la calidad del agua, este método contempla los parámetros de temperatura, pH, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno a 5 días (DBO_5), oxígeno disuelto, solidos disueltos totales, turbiedad y coliformes fecales, la determinación de estos parámetros fue en base a normas mexicanas vigentes. Se monitoreo de forma bimestral la calidad del agua en tres sitios dentro del cauce del río, durante el periodo de enero de 2017 a enero de 2018, cubriendo así las épocas de precipitación pluvial y estiaje. Para la toma de muestras se tomó como referencia la norma NMX-AA-014-1980. El ICA anual promedio del área de estudio fue de 68.86, considerada como de calidad media de acuerdo a la clasificación del ICA de Brown-NFS. En mayo se presentó el ICA más bajo en el sitio 2 con un valor de 56.83. Con un análisis de Kruskal-Wallis, el ICA en espacio no presentaron diferencias significativas, en el tiempo se presentaron diferencias significativas y con la prueba de Mann-Whitney se encontraron diferencias en la temporalidad atmosférica entre “nortes” y “lluvias” ($p<0.001$). De acuerdo al análisis de componentes principales los parámetros de mayor influencia sobre la calidad del agua fueron los coliformes fecales, la turbiedad y los nitratos.

Palabras clave: calidad del agua, ICA, índice de Brown-NFS, río Laxaxalpan, coliformes fecales, turbiedad, nitratos.

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas dulces del mundo constituyen un recurso escaso, amenazado y en peligro. Estudios sobre balances hídricos del planeta indican que solamente el 0.007% se encuentra realmente disponible a todos los usos humanos directos y de esta pequeña porción dependen procesos sociales vitales (Toledo, 2002). Teniendo en cuenta la naturaleza finita de los recursos hídricos, serán inevitables los desafíos en las próximas décadas a medida que la competencia por los recursos de agua aumente y afecte la disponibilidad, haciendo más difícil satisfacer las demandas y manteniendo a la vez la integridad del ecosistema y la sostenibilidad del medio ambiente (WWAP, 2016).

Como muchos países del mundo, México enfrenta problemas que obligan a mejorar la administración de los recursos hídricos para satisfacer las demandas de sus habitantes, entre los cuales destacan la escasez, contaminación, falta de ordenamiento ecológico, el impacto del cambio climático sobre el ciclo hidrológico y la poca inversión en investigación y desarrollo tecnológico en el país (Arreguín-Cortés *et al*., 2010). Por ello, es indispensable conservar y preservar las fuentes de este recurso, como son las aguas superficiales (ríos, lagos y presas), importante suministro para consumo humano, aportando cerca del 30% del total en el país. Estas corrientes superficiales están expuestas a la contaminación por las descargas de aguas residuales a su paso por los diferentes asentamientos humanos, por lo cual es importante generar datos de su calidad (Jiménez *et al*., 2010).

Con respecto al estado de Veracruz, la red hidrográfica está conformada por cientos de ríos perennes, intermitentes y arroyos, lo cual constituye el recurso más accesible e importante para satisfacer las necesidades humanas. La calidad del agua de los ríos o aguas superficiales que se encuentran en microcuencas con alto porcentaje de agricultura o zonas urbanas, generalmente es mala, pues los ríos reciben contaminantes de diferentes tipos (Pérez-Maqueo *et al*., 2011), como es el caso del río Laxaxalpan.

En la cuenca del Tecolutla, sobre el lecho del río Laxaxalpan se encuentra la obra de toma para abastecer de agua a la cabecera municipal de Filomeno Mata, Ver., pero aguas arriba a 2.78 km se descargan las aguas residuales municipales. Estas descargas de aguas no tratadas propician la alteración de los ecosistemas, las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua se ven afectadas, se disminuye la capacidad de dilución y autodepuración, afectando el desarrollo de la vida acuática, proliferado las malezas acuáticas, favoreciendo así el hábitat para el desarrollo de insectos vectores de enfermedades y con ello condicionando la calidad de vida de las personas (Dimas *et al*., 2015; Jáuregui-Medina *et al*., 2007; Landburg y Hardjoprajitno, 2013; Ramos-Herrera *et al*., 2012). Es necesario conocer espacial y temporalmente la calidad del agua para así generar información y con ello contribuir a la formulación de estrategias de gestión, manejo y conservación del recurso, así como para la prevención de riesgo a la salud de los usuarios de esta fuente de abastecimiento de agua.

II. ANTECEDENTES

2.1. La calidad del agua

La calidad del agua depende esencialmente de su composición, técnicamente sería muy difícil analizar todos los compuestos, por lo cual se requieren parámetros generales capaces de dar información sobre la cantidad y tipo de contaminación (Houbron, 2010). En los años setenta, ante tal necesidad se desarrollaron sistemas estimativos para conocer la calidad del agua, para lo cual se requirió la medición física de los parámetros de contaminación y el uso de una escala estandarizada para expresar la relación entre la existencia de varios contaminantes en el agua, a este sistema se denominó Índice de Calidad del Agua (ICA) (SNIARN, 2014).

Se han desarrollado en todo el mundo numerosos índices de calidad del agua considerando diferentes enfoques que sirvan para valorar la calidad general del agua dentro de un área (Bharti y Katyal, 2011). El índice de calidad del agua es una expresión matemática que representa los parámetros físicos, químicos y biológicos valorados para facilitar la interpretación y evaluación del recurso hídrico (Samboni-Ruiz *et al.*, 2007). Por lo cual es importante elegir indicadores de calidad del agua que tengan mayor importancia sobre la región geográfica y que representen los aspectos que se desea medir (Walsh y Wheeler, 2012).

En distintas partes del planeta se ha utilizado el índice de calidad del agua para identificar el impacto que tienen las actividades antropogénicas sobre este recurso.

Estudios realizados en algunos ríos de la República de Surinam, para medir la calidad del agua y probar efectos de la perturbación de los ecosistemas, mostraron resultados que eran típicos para ecosistemas acuáticos no perturbados, pero lo relevante fue la presencia de mercurio, indicando la existencia de una fuente externa de este elemento (Landburg, 2013; Landburg y Hardjoprajitno, 2013).

Jiménez y Vélez en 2006, realizaron un análisis comparativo de indicadores de calidad de agua como un acercamiento a la caracterización general de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca de la quebrada Doña María localizada en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, estimando el valor del índice WQI_{NSF} en los diferentes puntos de muestreo, se observaron que las condiciones más favorables de calidad del agua (calidad buena) aparecen en mayor proporción en la parte alta de la cuenca, y en la parte media y baja resaltan condiciones de calidad media. González *et al*. (2013) evaluó la calidad de agua de la quebrada La Ayurá (Envigado-Antioquia, Colombia), mediante la aplicación del índice de calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF), se efectuó con información recolectada en tres sitios durante tres muestreos, los resultados indican calidad de regular a buena de acuerdo al índice NFS.

Ray *et al*. (2015) evaluaron la calidad del agua del canal de Goalichara que es una de la fuentes que abastece de agua a la ciudad de Sylhet en el noreste de Bangladesh, utilizando el índice de calidad del agua de la NFS, obtuvieron valores de 34 a 58 en los diferentes sitios de muestreo, indicando calidad mala a media, así

mismo estos valores no presentaron cambios significativos en las diferentes estaciones del año, por lo que estos datos indicaron que el agua de este canal no es apta para uso humano e indeseable para la vida acuática.

Finkler *et al*. (2015) determinaron los factores naturales y antropogénicos que contribuyen a las variaciones espaciales y temporales de la calidad del agua en las cuencas urbanas de Caxias do Sul, Brasil, demostraron que la contaminación doméstica e industrial son las causas principales que contribuyen a la variación de la calidad del agua.

Espinosa y Rodriguez (2016) determinan el ICA para los ríos Morón y Patanemo del Estado Carabobo, en Venezuela, el ICA desarrollado considera la detección de metales y nutrientes, con el que se concluyó que el río Morón presenta calidad “media” muy cercana de “mala” en los dos sectores estudiados (aguas arriba y desembocadura) mientras que el río Patanemo presenta una calidad “buena” en el tramo aguas arriba y disminuye en la desembocadura.

Zeinalzadeh y Rezaei en 2017 determinaron los cambios espaciales y temporales de la calidad del agua, del río Shahr Chai, ubicado en la cuenca del lago Urmia, Irán. Los parámetros de calidad del agua se vieron afectados por descargas de centros recreativos intensivos y actividades rurales y agrícolas, en donde el río corriente aguas abajo experimentaba una disminución en la calidad del agua.

Vallejo-Rodríguez *et al*. (2017) determinaron el Índice de Calidad del Agua de acuerdo con la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF), la importancia de determinar el ICA radica en los posibles impactos e implicaciones en la salud pública por el uso y consumo del agua del Lago de Chapala, considerando que es la principal fuente de agua potable en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco. El ICA del lago de Chapala obtenido fue de un promedio de 55, lo que implica un agua de calidad media, por ello los investigadores recomiendan un proceso de purificación eficaz antes de la distribución y consumo del agua proveniente del lago.

Bhat *et al*. (2018) estudiaron la evaluación estacional de los parámetros fisicoquímicos y evaluación de la calidad del agua del río Yamuna, India, con base en los parámetros como temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fosfatos, nitratos, conductividad eléctrica y cloruros, determinaron el Índice de calidad del agua (ICA) con el método de índice aritmético ponderado, obteniendo así que la calidad es considerada como inadecuado para beber.

Por lo que conocer la calidad del agua proporciona información sobre el recurso y con ello tratar de comprender la condición ambiental, ya que el deterioro en la calidad del agua repercute en el equilibrio de los ecosistemas y amenaza la salud humana (Mustapha y Abdu, 2012). Por lo tanto, obtener información de la calidad del agua de los distintos cuerpos de agua es una herramienta para la toma de decisiones y acciones a favor del medio ambiente y del bienestar del hombre.

2.2. Agua superficial en Veracruz

El extinto Consejo del Sistema Veracruzano del Agua (CSVA) en 2004, menciona en su programa hidráulico estatal que los 14 ríos más importantes del estado registran niveles significativos de contaminación. La alta contaminación de los ríos se debe principalmente a las descargas de aguas residuales industriales, de origen municipal y de servicios sin tratamiento o con tratamiento deficiente (GEV, 2016; Houbron, 2010).

Para conocer el comportamiento de la calidad del agua en los cuerpos de agua superficiales la CONAGUA lleva a cabo mediciones a través de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad de Agua. De acuerdo los monitoreos en el estado de Veracruz, la mayoría de los ríos presentan una calidad de tipo inaceptable y contaminado (Houbron, 2010).

Galindo *et al*. (2005), encontraron que los parámetros biológicos del río Cazones durante el 2004 – 2005 estaban dentro de los límites máximos permisibles y sólo en algunas ocasiones fueron rebasados, con valores superiores a 1,100 NMP/100 mL en los meses de octubre y diciembre, en cuanto a sedimentos, las grasas y aceites estuvieron por encima de los límites, mientras que los metales estuvieron dentro de los rangos permitidos por las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-004-SEMARNAT-2002.

En cuanto al río Tecolutla, de acuerdo al trabajo de Ordenamiento Ecológico Territorial de las Cuencas Hidrológicas de los Ríos Necaxa y Laxaxalpan (UACh, 2006), para la cuenca del río Laxaxalpan los principales focos de contaminación los representan las ciudades de Chignahuapan y Zacatlán, que se encuentra en la parte alta de la cuenca, ya que se hace mención que la DBO de las descargas de aguas residuales de estas dos ciudades está por arriba de los 300 mg/L y los coliformes fecales están muy por arriba del límite máximo permisible que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996, para cualquier descarga, valores superiores a 1000 NMP/100 mL indican presencia de aguas residuales sin tratar. También se destaca que en Zacatlán los valores de nitratos (61 mg/L) y fosfatos (10 mg/L) son altos, asociado tal vez a la actividad muy común de fabricación doméstica de bebidas fermentadas.

Así también, un estudio de monitoreo de la calidad del agua desde Coyutla hasta Gutiérrez Zamora entre 2007 y 2008, el río Tecolutla llegó a tener una carga contaminante de 76 mg/L de DBO_5, lo cual lo ubica como un río contaminado, asimismo la presencia de coliformes totales y fecales en un cuerpo de agua es sinónimo de contaminación antropogénica, por lo que de acuerdo al monitoreo del agua del río se puede observar que existe un gran impacto de la población sobre la calidad de ésta, pues durante el muestreo la cantidad de Unidad Formadora de Colonias (UFC) se mantuvo siempre muy por arriba de la norma 1000 UFC/100 mL (Arriaga-Gaona, 2009).

Olguín *et al*. (2010) realizaron un diagnóstico de la calidad del agua del arroyo Papas y el río Carneros pertenecientes a la subcuenca del río Sordo, en Xalapa, Veracruz. La calidad del agua fue evaluada en 8 sitios de muestreo durante la época seca (junio) y la época lluviosa (septiembre), usando el Índice de Calidad del Agua (ICA) modificado a partir del propuesto por la National Sanitation Foundation de los Estados Unidos de América. El ICA obtenido fue de 40.14 la cual se clasifica como agua contaminada.

2.3. Problemática del agua en el municipio de Filomeno Mata, Veracruz

El municipio de Filomeno Mata, Veracruz, se ubica en la zona media de la cuenca del río Tecolutla, en la parte baja de la Sierra Madre Oriental, también conocido como Sierra del Totonacapan (INEGI, 2010), en el tramo conocido como Laxaxalpan se localiza la obra de toma en las coordenadas: 20° 9' 45.97" N y 97° 42' 39.49" O, abasteciendo de agua a la cabecera municipal y a una de sus localidades.

El estudio de “Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla” realizado por Osuna-Osuna *et al.* (2015), reveló una tendencia al incremento de superficies dedicadas a actividades humanas (agricultura y uso urbano), presentando un cambio de 28% a 67% en un lapso de 16 años. Esta transición ha traído consecuencias que se han visto reflejadas en un incremento de escurrimientos superficiales y en un fuerte arrastre de sedimentos hacia el cauce principal. El estudio de “Estimación de la carga de sedimentos en la cuenca del río Tecolutla utilizando el modelo SWAT”, identificó que la subcuenca del río Laxaxalpan presenta pérdidas de 50 a 200 t/ha/año (Osuna-Osuna *et al.*, 2015). Así mismo, las escorrentías agrícolas suministran desechos animales, nutrientes inorgánicos, pesticidas, herbicidas y sedimentos a los arroyos, incrementando así la carga de nutrientes, descargando mayores cantidades de nitrógeno y fósforo a las corrientes fluviales (Saalfeld *et al.*, 2012), lo que afecta a la calidad del agua de las corrientes superficiales.

Por otra parte, la cuenca de río Tecolutla tiene un déficit de tratamiento de aguas residuales superior al 80%, el hecho que estos escurrimientos superficiales se encuentren contaminados puede ocasionar graves problemas de la salud (Bunge, 2010). Como los reportados en la tasa media anual de mortalidad por Enfermedades Infecciosas Intestinales (EII), la cuenca de Tecolutla tiene tasas superiores a 10 casos por cada 100,000 habitantes, el doble de casos que la tasa media nacional. En cuanto a mortalidad infantil por EII en niños menores de cinco años para el río Tecolutla, este tiene una tasa media anual de 18-26 decesos, siendo de las más altas del país, y superior a la tasa media nacional (Riojas *et al*., 2010).

Por su ubicación el municipio se ha enfrentado a la poca disponibilidad de agua potable para consumo humano. Actualmente el suministro de agua no cubre con la necesidad de dotar del líquido a toda la población, ya que cada vez la demanda se incrementa por el crecimiento poblacional. De acuerdo con el INEGI en el Censo de Población y Vivienda 2010, para ese año en la cabecera municipal existían 13,304 habitantes y en base a las Proyecciones de la población de México 2010-2050 de la CONAPO para el año 2020 se tendrán 14,194 habitantes. Así también, este incremento demográfico se verá reflejado en la generación de aguas residuales, las cuales se descargan en un arroyo que vierte en uno de los afluentes del río Laxaxalpan. Estas descargas se realizan a 2.78 km aguas arriba de donde se localiza la obra de toma del municipio de Filomeno Mata.

Ante esta situación la población ha tenido que enfrentar graves problemas como brotes de hepatitis, cólera y rotavirus. En al año de 2007 se presentó un brote de rotavirus, provocando infecciones gastrointestinales lo que ocasiono la muerte de 6 menores y se puso bajo observación médica a mil 400 familias (La Jornada, 2007).

Con este panorama surge la necesidad y la importancia de generar información sobre la calidad del agua en la zona media de la cuenca del rio Tecolutla, ya que se tienen estudios en la parte alta de la cuenca, como el trabajo de Ordenamiento Ecológico Territorial de las Cuencas Hidrológicas de los Ríos Necaxa y Laxaxalpan (UACh, 2006) y en la salida de la cuenca por Arriaga-Gaona (2009) y Carrillo y Villalobos (2011) los cuales monitorearon la calidad del agua del río Tecolutla. Es fundamental evaluar y garantizar una calidad adecuada de agua dulce para las necesidades humanas y ecológicas, como parte importante de la gestión ambiental integrada y de desarrollo sostenible (Tirkey *et al.*, 2015).

III. OBJETIVOS

3.1. General

Evaluar espacial y temporalmente la calidad del agua en un tramo del río Laxaxalpan, durante el periodo comprendido de enero de 2017 a enero de 2018.

3.2. Particulares

- Determinar espacio-temporalmente los parámetros físico-químicos y bacteriológicos durante el periodo de estudio en tres sitios de muestreo.
- Determinar el índice de calidad del agua (ICA) con el método de Brown-NFS durante el periodo de muestreo para los tres sitios de muestreo.
- Relacionar el ICA obtenidos con respecto a los sitios de muestreo y a la temporalidad atmosférica durante el tiempo de monitoreo.
- Identificar los parámetros más importantes que definen la calidad del agua en la zona de estudio.

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

La cuenca del río Tecolutla se encuentra ubicada geográficamente entre los 19°30' y 20°30' latitud norte, y los 97° y 98°15' longitud oeste del meridiano de Greenwich, está ubicada en entre los estados de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y Veracruz, hasta la desembocadura del Golfo de México (Pereyra-Díaz *et al*., 2010). Durante su recorrido se utiliza como aprovechamiento de agua potable, a la vez que su corriente recibe descargas de aguas residuales de diferentes orígenes. En base al Marco Geoestadístico y la Red Hidrográfica del INEGI, en la subcuenca del río Laxaxalpan, el colector principal recorre poco más de 96 km antes de la zona de estudio, pasando al alrededor de 46 localidades, en 9 municipios del estado de Puebla (INEGI, 2015). De estos municipios solo en Zacatlán y Chiconcuautla, Puebla, cuentan con una planta municipal de tratamiento de aguas residuales, que sumados solo tratan 81.5 l/s de agua residual (CONAGUA, 2014).

El municipio de Filomeno Mata, Veracruz, se ubica en la zona media de la cuenca del río Tecolutla, y en la subcuenca del río Laxaxalpan, en la parte baja de la Sierra Madre Oriental, entre los paralelos 20° 10' y 20° 16' de latitud norte; los meridianos 97° 38' y 97° 45' de longitud oeste; altitud entre 194 y 800 msnm. Colinda al norte con los municipios de Coahuitlán, Coyutla y Mecatlán; al este con el municipio de Mecatlán y el estado de Puebla; al sur con el estado de Puebla; al oeste con el estado de Puebla y el municipio de Coahuitlán. La zona urbana está asentada sobre

rocas sedimentarias del Cretácico, en sierra alta escarpada; sobre áreas donde originalmente había suelo denominado leptosol (INEGI, 2010) (Figura 1).

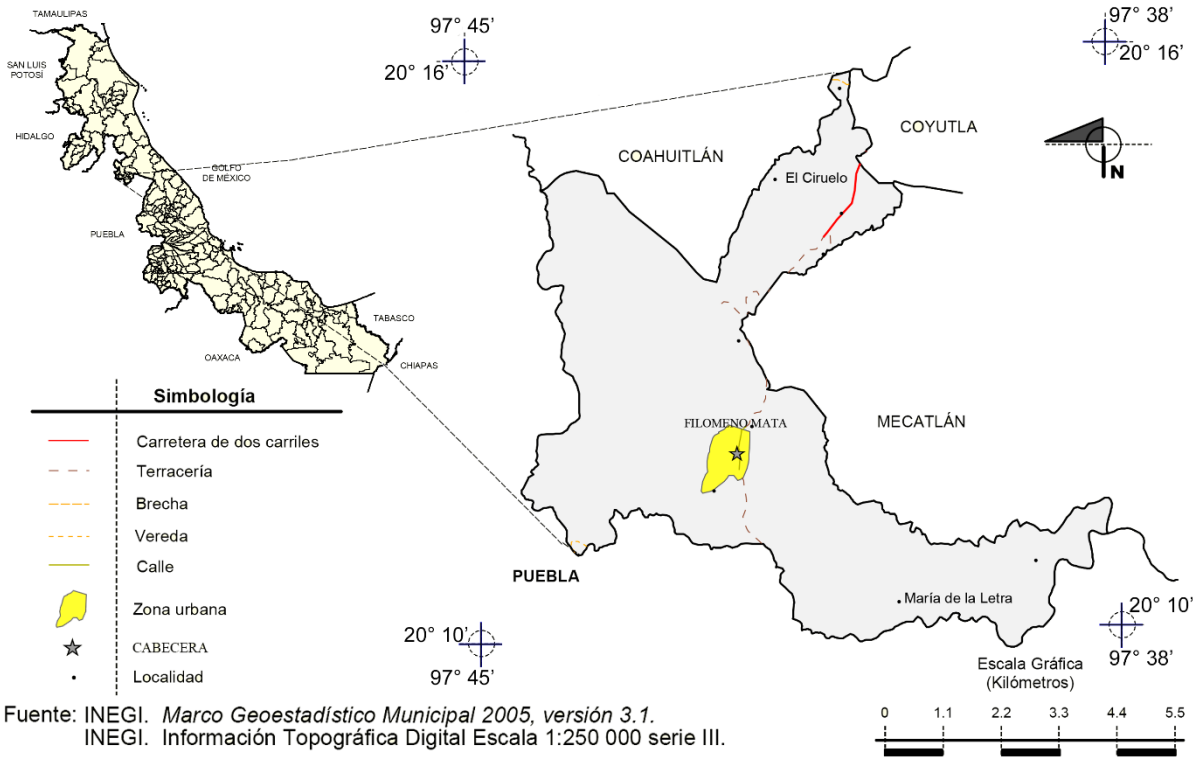
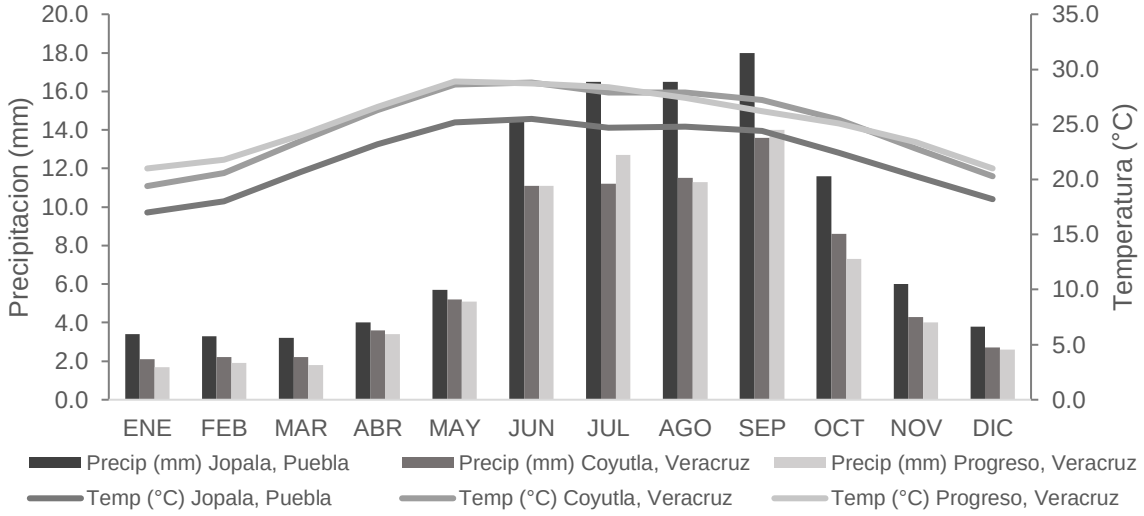


Figura 1. Ubicación de Filomeno Mata, Veracruz.

La temperatura oscila entre los 20 a 26°C, con un intervalo de precipitación de 2, 900 a 3, 100 mm, con un clima semicálido húmedo con lluvias todo el año (92.18%) y cálido húmedo con lluvias todo el año (7.82%) (INEGI, 2010). Septiembre es el mes más lluvioso, las temperaturas más altas se presentan en mayo y junio, esto en base a las estaciones climatológicas más cercanas al área de estudio: 21051 Jopala, Puebla; 30034 Coyutla, Veracruz; 30134, Progreso de Zaragoza, Veracruz (CONAGUA, 2018) (Figura 2).



Fuente: SMN, CONAGUA, 2018.

Figura 2. Promedio diario de lluvia y temperatura media, por mes en la zona de estudio.

El área donde se realizó el estudio es en el río Laxaxalpan, que es una de las afluentes principales del río Tecolutla. Para ubicar los sitios de muestreo, se efectuó un muestreo por conveniencia, el cual se fundamenta en la conveniente accesibilidad y proximidad del sujeto de estudio (Otzen y Manterola, 2017), y en donde la asignación al azar es imposible dada la ubicación espacial y proximidad geográfica de los sitios a los propósitos del estudio (Ilker Etikan *et al*., 2016). Para los sitios de muestreo se consideraron factores topográficos e hidrológicos, que los sitios fueran accesibles en todas las épocas climáticas, se ubicaron dentro del cauce, así como cubrir el tramo a estudiar.

Los sitios de muestreo se localizan en el siguiente orden: el Sitio 1 en las coordenadas: 20° 10' 48.01" N y 97° 43' 21.76" O, a una altura de 280 msnm, lugar donde llegan las descargas de aguas residuales municipales de Filomeno Mata, Veracruz.

El Sitio 2 localizado a 20° 9' 60.00" N y 97° 42' 58.11" O, a una altura de 254 msnm, este sitio se localiza aguas arriba de la confluencia del afluente donde se descargan las aguas residuales y del cuerpo principal del río Laxaxalpan, a una distancia de 1,972 m del primer sitio. El Sitio 3 se localiza en las coordenadas: 20° 9' 45.71" N y 97° 42' 39.73" O, a una altura de 252 msnm, sitio donde se localiza la obra de toma para el suministro de agua a la población de Filomeno Mata, Ver., a 2,780 m del primer sitio, Figura 3.

Figura 3. Localización de los sitios de muestreo.

4.2. Toma de muestras

Para determinar las variaciones de las condiciones particulares del cuerpo receptor, se estableció un ciclo de enero de 2017 a enero de 2018 para cubrir las épocas de precipitación pluvial y estiaje. La temporalidad atmosférica del Golfo de México, está compuesta por tres periodos, “secas” en primavera (marzo, abril, mayo y junio), “lluvias” en verano y otoño (julio, agosto, septiembre y octubre), con algunas tormentas tropicales y huracanes, y los “nortes” en otoño e invierno (noviembre, diciembre, enero y febrero) inciden vientos predominantemente del norte (Avendaño, 2013; GEV, 2018).

El muestreo se realizó con una periodicidad bimestral en los sitios mencionados. Se tomó como referencia la norma NMX-AA-014-1980 que establece el procedimiento para el muestreo de cuerpos receptores.

De cada sitio se tomaron tres muestras simples, con el fin de incrementar la confiabilidad de los resultados, obteniendo 9 muestras por cada muestreo. Transportando las muestras al laboratorio en hieleras y manteniéndolas a baja temperatura (± 4° C) con ayuda de cubos de hielo.

4.3. Análisis de muestras

Se determinaron 9 parámetros para cada muestra, en base a normas mexicanas vigentes, con el equipo que se muestra en el Cuadro 1. Realizando lecturas por triplicado.

Cuadro 1. Parámetros ICA de Brown - NFS.

Parámetros	Norma oficial	Equipo
T°C	NMX-AA-007-SCFI-2013	Termómetro Brannan
pH	NMX-AA-008-SCFI-2011	Waterproof pH Tester 10
Nitratos	NMX-AA-079-SCFI-2001	Espectrofotómetro Hach DR/2010
Fosfatos	NMX-AA-029-SCFI-2001	Espectrofotómetro Hach DR/2010
DBO_5	NMX-AA-028-SCFI-2001	No Aplica
Oxígeno Disuelto	NMX-AA-012-SCFI-2001	Multiparámetro Hanna HI 9828
Solidos Disueltos Totales	NMX-AA-034-SCFI-2015	Multiparámetro Hanna HI 9828
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	Espectrofotómetro Hach DR/2010
Coliformes Fecales	NMX-AA-102-SCFI-2006	Microfiltro Hach Millipore

Temperatura

La medición de la temperatura se realizó de acuerdo a la norma NMX-AA-007-SCFI-2013, midiendo dentro del cuerpo de agua, se utilizó un termómetro de la marca Brannan, esperando el tiempo suficiente para obtener mediciones constantes y se realizaron tres replicas.

Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH de los cuerpos de agua y el agua residual doméstica, en general, es ligeramente alcalino por la presencia de bicarbonatos, carbonatos y metales alcalinos. La medición del pH se realizó en base a la norma NMX-AA-008-SCFI-2011 y se llevó acabo en el sitio de muestreo con un equipo Waterproof pH Tester 10, realizado tres replicas.

Nitratos

El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas. Una concentración alta de nitratos es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados. De acuerdo a la norma NMX-AA-079-SCFI-2001 se utilizó el método de reducción de cadmio y el espectrofotómetro Hach DR/2010 en el laboratorio y a cada muestra se realizaron tres lecturas.

Fosfatos

El fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales, residuales y residuales tratadas como fosfatos. Los fosfatos se determinaron de acuerdo con lo establecido en la norma NMX-AA-029-SCFI-2001 y por medio del espectrofotómetro Hach DR/2010 en el laboratorio, realizando tres lecturas por cada muestra analizada.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica en agua en 5 días a 20°C. La DBO no mide un compuesto en especial, sino todos los biodegradables, por vía aerobia; se expresa en mg O_2/L. En base a la norma NMX-AA-028-SCFI-2001 el método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos.

- Determinación del OD inicial

La determinación del OD inicial se realizó por medio del método electrométrico con un multiparámetro Hanna HI 9828.

- Blanco del agua de dilución

Se empleó un blanco del agua de dilución como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no sembrada y de la limpieza de los frascos de incubación. Junto con cada lote de muestras, se incubo en un frasco de agua de dilución no sembrada. Se determinó el OD inicial y final, el consumo de OD no debe ser mayor de 0,2 mg/L y preferentemente no menor a 0,1 mg/L.

- Incubación

Se incubo a 20ºC ± 1ºC las botellas de DBO_5 que contenían las muestras con las diluciones, los controles de siembra, los blancos de agua de dilución.

- Determinación del OD final

Después de 5 días de incubación se determinó el OD en las diluciones de la muestra, en los controles y en los blancos. La medición del OD fue realizada inmediatamente después de destapar la botella, para evitar la absorción de oxígeno del aire por la muestra.

- Cálculo

Para el cálculo se aplicó la siguiente formula, ya que se emplea una dilución:

$$DBO_5(mg/L) = \frac{OD_i\ mg/L\ -\ OD_5\ mg/L}{\%\ de\ dilución\ expresado\ en\ decimales}$$

Oxígeno Disuelto

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas dependen de las actividades químicas, físicas y bioquímicas en los cuerpos de aguas. Basado en la norma NMX-AA-012-SCFI-2001 se usó el método electrométrico con el multiparámetro Hanna HI 9828 y a cada muestra se realizaron tres lecturas.

Sólidos Disueltos Totales

Todas las aguas contienen substancias disueltas en cantidades variables que dependen de su origen. La determinación de los sólidos disueltos totales se llevó a cabo mediante un equipo Multiparámetro Hanna HI 9828 en el sitio de muestreo, realizando tres lecturas.

Turbiedad

La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas, materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos

microorganismos. De acuerdo a la norma NMX-AA-038-SCFI-2001 el método se basa en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas y la intensidad de luz dispersada por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones. Se utilizó el espectrofotómetro Hach DR/2010 en el laboratorio y a cada muestra se realizaron tres mediciones, las cuales se reportan en unidades de atenuación de formacina (FAU).

Coliformes fecales

La presencia y extensión de la contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. Dado que la capacidad de algunos miembros del grupo coliformes para sobrevivir en agua es limitada, sus números pueden emplearse también para estimar el grado de contaminación fecal. De acuerdo a la norma NMX-AA-102-SCFI-2006 el método que se empleo fue la filtración en membrana (Microfiltro Hach Millipore) de una muestra directa.

4.4. Índice de calidad del agua

El índice de Brown modificado por la National Foundation Sanitation (NFS), desarrollado en la década de los setentas en los Estados Unidos de América, es utilizado en diferentes investigaciones y para supervisar la calidad de los ríos a través del tiempo en muchos países del Mundo, esto con base en nueve parámetros: cambio de temperatura, pH, nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4), demanda

bioquímica de oxígeno a 5 días (DBO_5), oxígeno disuelto (OD), solidos disueltos totales (SDT), turbiedad y coliformes fecales (Chávez-Martínez, 2015; Samboni-Ruiz *et al*., 2007).

El índice de calidad del agua de Brown – NFS tiene la siguiente fórmula:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^{9} (Sub_i * w_i)$$

Dónde:

ICA: índice de Calidad de Agua

Sub_i: Subíndice del Parámetro i

w_i: Factor de Ponderación para el Subíndice i.

El Sub_i se toma de las curvas de función para cada parámetro, con estas curvas se obtienen valores de un rango de 0 a 100 que indican la calidad del agua respecto a cada parámetro. Las curvas de relaciones funcionales o curva de función fueron diseñadas junto con el método (Samboni-Ruiz *et al*., 2007), estas se muestran en el Anexo I.

Los valores de w_i se tomarán de los valores establecidos desde el diseño de este índice de calidad, que son los que se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Pesos establecidos para los parámetros del ICA.

Parámetros	w_i
T°C	0.10
pH	0.11
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
DBO_5	0.11
Oxígeno Disuelto	0.17
Solidos Disueltos Totales	0.07
Turbiedad	0.08
Coliformes Fecales	0.16

Una vez que se tiene los valores de los parámetros se aplica la fórmula ICA_a, obteniendo un valor de 0 a 100 y dependiendo de dicho valor se clasifica la calidad del agua. El índice de Brown – NFS maneja la clasificación que se detalla en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación del ICA de Brown – NFS.

Calidad	Rango	Color
Excelente	91 – 100	Azul
Buena	71 – 90	Verde
Media	51 – 70	Amarillo
Mala	26 – 50	Naranja
Muy mala	0 – 25	Rojo

Se obtendrá un promedio de cada parámetro e ICA para cada sitio, así como un promedio general del ICA del área de estudio.

4.5. Análisis estadístico

4.5.1 Variación de los parámetros físico-químicos, bacteriológicos e ICA

Con los resultados obtenidos se realizó una prueba de normalidad con Shapiro-Wilk, para comprobar la hipótesis de normalidad. Como el conjunto de datos no se ajustaron a una distribución normal se realizó una prueba no paramétrica mediante un análisis de Kruskal-Wallis, estos análisis se realizaron con el paquete estadístico R (R Core Team, 2017), para determinar si existen diferencias significativas en espacio y tiempo. Para contrastar las diferencias estadísticas no paramétricas entre dos o más grupos, la Prueba “U” de Mann-Whitney es empleada para tal comparación (Romero, 2013).

4.5.2 Análisis de los componentes principales (PCA)

El análisis de componentes principales (PCA), se utiliza ampliamente en la evaluación de la calidad del agua porque puede eliminar la correlación entre los factores (Jianqin *et al*., 2010). Así también proporciona información sobre las variables más significativas que producen variación de la calidad del agua superficial y permite la identificación de un número reducido de factores y fuentes latentes de contaminación (Mustapha y Abdu, 2012). El PCA puede proporcionar un mejor reconocimiento de los factores contaminantes a lo largo de los tramos fluviales, así como a variaciones espaciales y estacionales (Zeinalzadeh y Rezaei, 2017). Para el análisis de compontes principales se utilizó el software IBM SPSS Statistics 21.0 (IBM Corp. Released, 2012).

En el PCA, el primer análisis realizado fue de interdependencia entre las variables, para verificar la adecuación del conjunto de variables al procedimiento estadístico. La consistencia de los datos puede ser evaluada por el método Kayser-Mayer-Olkim (KMO), para esta prueba se buscan valores KMO>0.5 (Beaumont, 2012; Girão *et al*., 2007).

En la matriz de correlación de los parámetros estudiados, Girão *et al*. (2007) consideran como variables significativas aquellas con coeficiente de correlación superior a 0.5 y Beaumont (2012) menciona que correlaciones por encima de 0.3 se pueden considerar significativas.

El método de Varimax es recomendable cuando existen pocos componentes principales (Restrepo *et al*., 2012) ya que hace la interpretación más eficiente y simplificada al reducir el número de correlaciones entre las variables (Finkler *et al*., 2015).

V. RESULTADOS

5.1. Parámetros físico-químicos y bacteriológicos obtenidos

Se obtuvieron valores promedio de cada parámetro por sitio de muestreo (Anexo II). De acuerdo a la prueba de Shapiro-Wilk, los parámetros no tienen una distribución normal con valores de p menores a 0.001.

La temperatura entre sitios no presentó diferencias estadísticas significativas (KW=3.4226, p=0.1806).

En el tiempo, la temperatura presentó diferencias significativas (KW=178.22, p<0.0001), presentándose la más alta en mayo para el sitio 3 (Figura 4).

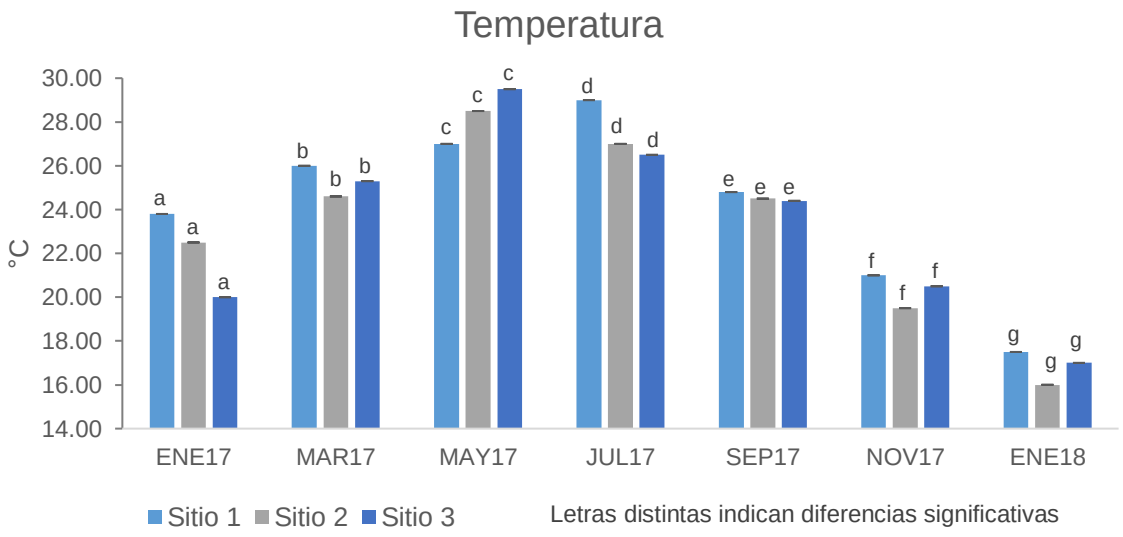


Figura 4. Variación espacio-temporal de la temperatura

El pH entre sitios presentó diferencias significativas (KW=8.8092, p=0.01222). Con la prueba de Mann-Whitney se encontraron diferencias entre los sitios 1 y 3 (p=0.004); no existen diferencias en los sitios 1 y 2 (p=0.292) y los sitios 2 y 3 (p=0.050).

En el tiempo, presentaron diferencias significativas (KW=61.766, p<0.0001). El valor más alto fue en julio para el sitio 1 (Figura 5).

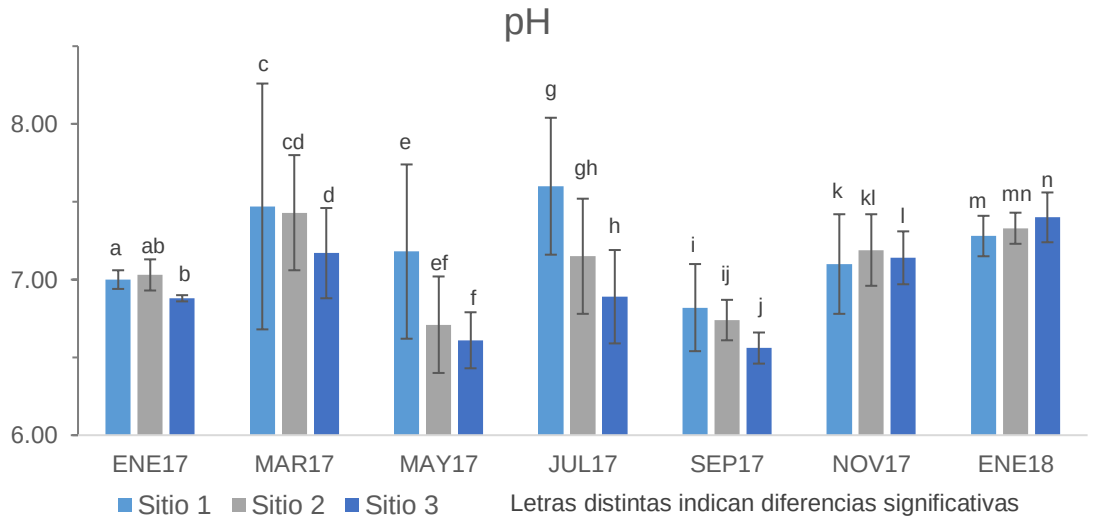


Figura 5. Variación espacio-temporal del pH

Los nitratos en espacio presentaron diferencias significativas (KW=17.482, p<0.0001). De acuerdo a la prueba de Mann-Whitney se encontraron diferencias en los sitios 1 y 2, y sitios 1 y 3 con valores p<0.001; y no existen diferencias significativas entre los sitios 2 y 3, p=0.703.

En el tiempo, presentaron diferencias significativas (KW=118.46, p<0.0001), con el valor más alto en mayo para el sitio 2 (Figura 6).

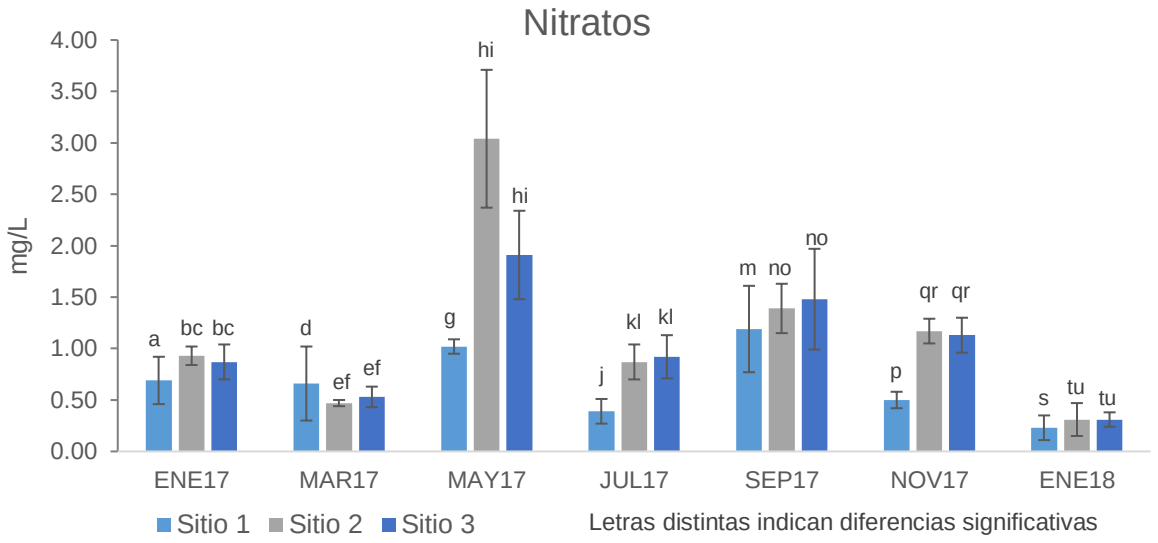


Figura 6. Variación espacio-temporal de los nitratos

Los fosfatos en espacio presentaron diferencias significativas con un valor de $p<0.0001$. De acuerdo a la prueba de Mann-Whitney se encontraron diferencias entre los tres sitios 1 y 2, 1 y 3 con valores $p<0.0001$, y entre los sitios 2 y 3, con un valor de $p=0.02$.

En tiempo presentaron diferencias significativas con valores de $p<0.0001$. Los valores más altos se presentaron en mayo y septiembre en el sitio 2 (Figura 7).

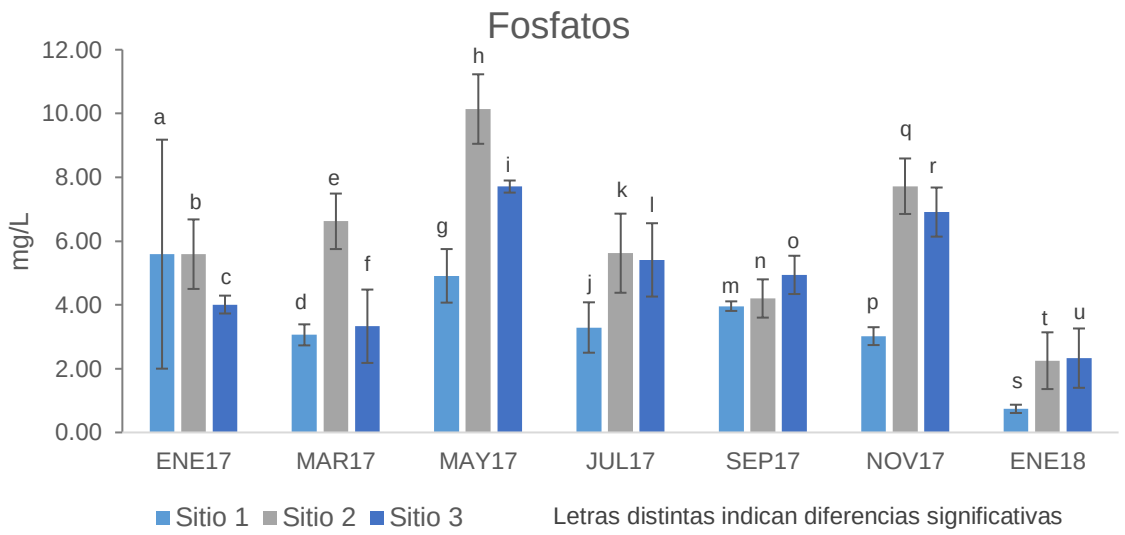


Figura 7. Variación espacio-temporal de los fosfatos

La DBO_5 en espacio no presentó diferencias estadísticas significativas (KW=1.6538, p=0.4374). En el tiempo presentaron diferencias estadísticas con un valor p<0.0001. Los valores más altos fueron en enero y marzo para el sitio 1 (Figura 8).

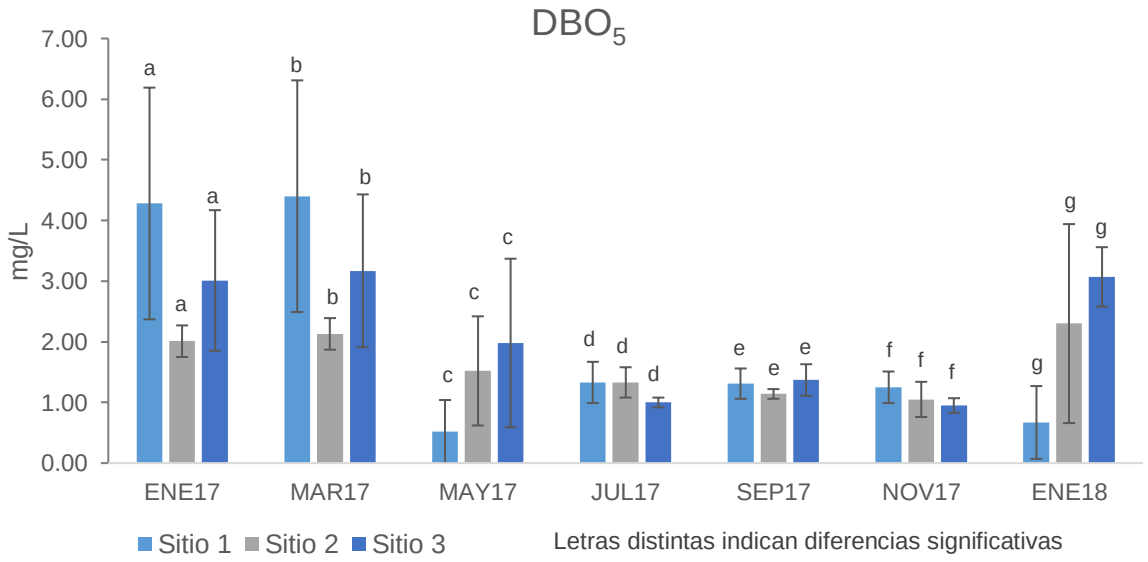


Figura 8. Variación espacio-temporal de la DBO_5

El oxígeno disuelto entre sitios no presentó diferencias estadísticas significativas (KW=0.25652, p=0.8796). En el tiempo presentaron diferencias significativas con un valor p<0.0001. Los valores más altos fueron en septiembre de 2017 y enero 2018 (Figura 9).

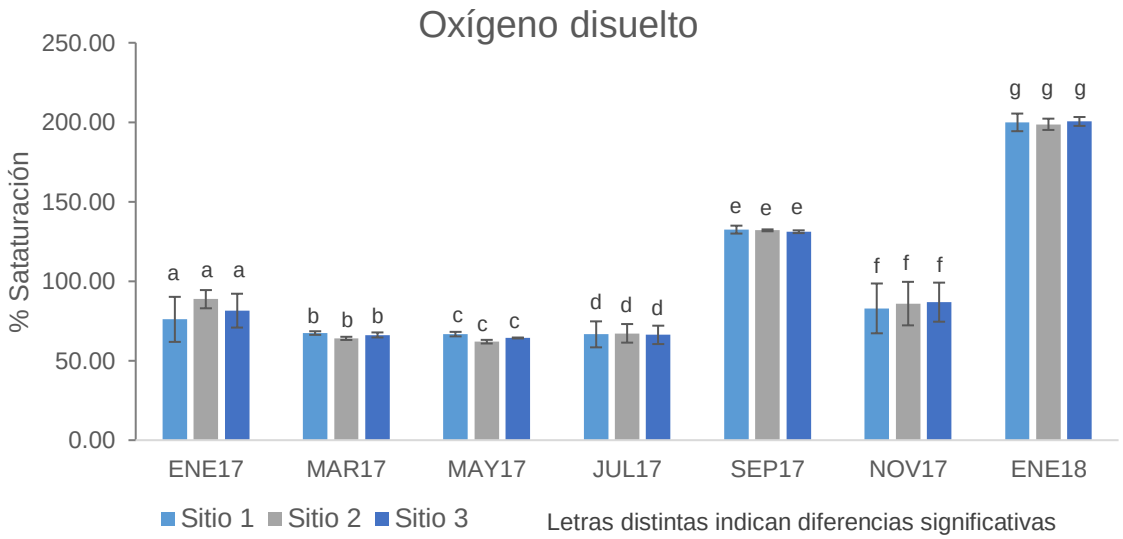


Figura 9. Variación espacio-temporal del oxígeno disuelto

Los sólidos disueltos totales entre sitios presentaron diferencias significativas (KW= 8.7059, p=0.01287). Con la prueba de Mann-Whitney solo se encontraron diferencias entre los sitios 1 y 2 (p=0.005).

En el tiempo presentaron diferencias estadísticas (KW=143.65, p<0.0001), con las concentraciones más altas en marzo y mayo en el sitio 2 (Figura 10).

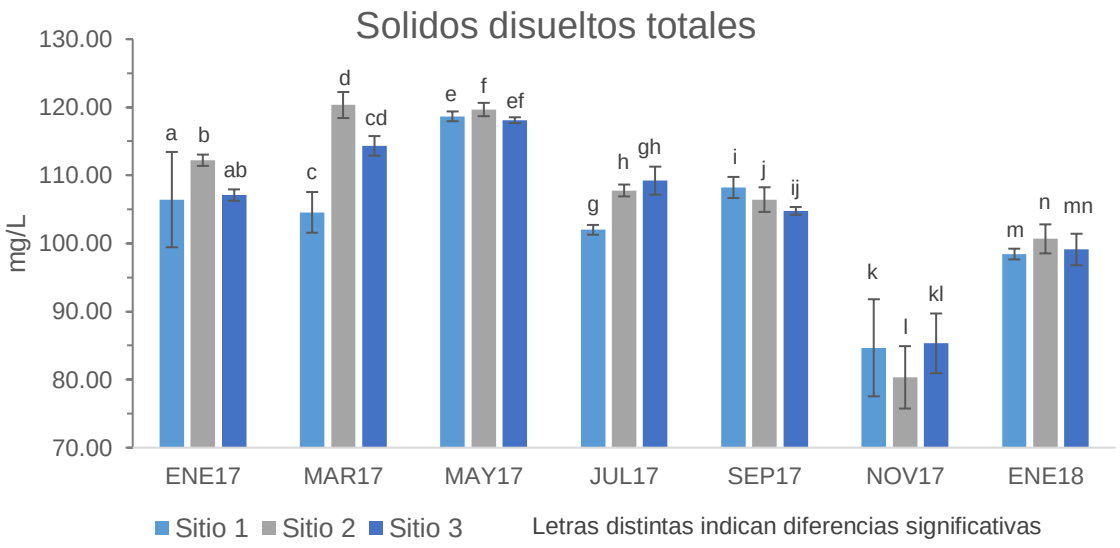


Figura 10. Variación espacio-temporal de los sólidos disueltos totales

La turbiedad entre sitios presentó diferencias significativas (KW= 8.393, p=0.0150). Con la prueba de Mann-Whitney se encontraron diferencias en los sitios 1 y 2 (p=0.010); en los sitios 1 y 3 (p=0.017); y no existen diferencias significativas entre los sitios 2 y 3, p=0.626.

En el tiempo presentaron diferencias significativas (KW=149.62, p<0.0001), los valores más altos fueron en mayo para el sitio 2 y septiembre para el sitio 3 (Figura 11).

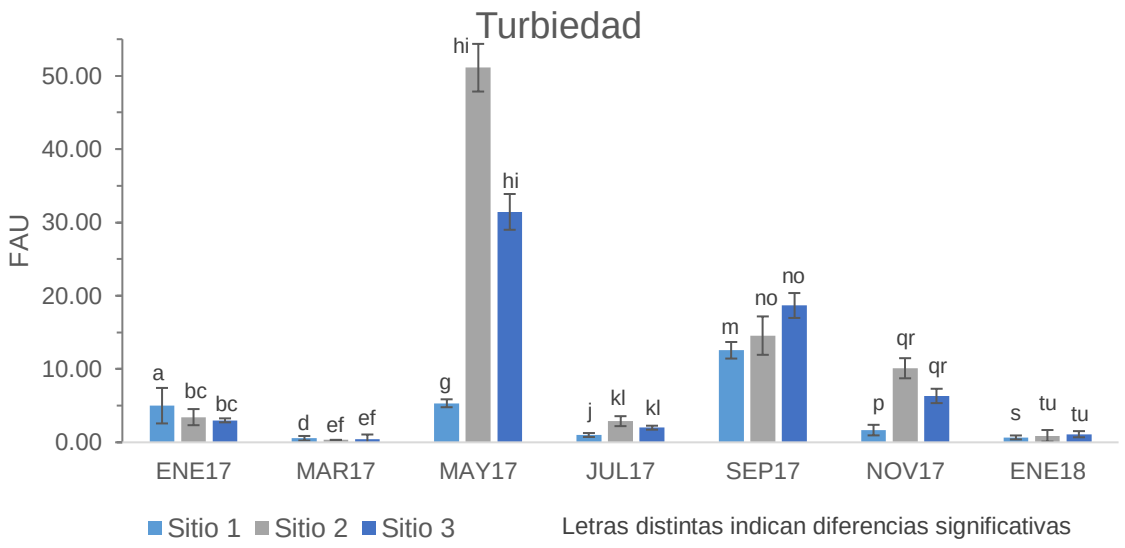


Figura 11. Variación espacio-temporal de la turbiedad

Los coliformes fecales entre sitios no presentaron diferencias significativas (KW=1.957, p=0.376). En el tiempo presentaron diferencias significativas con un valor p<0.0001. Los valores más altos fueron en mayo y septiembre, y los valores más bajos en marzo de 2018 (Figura 12).

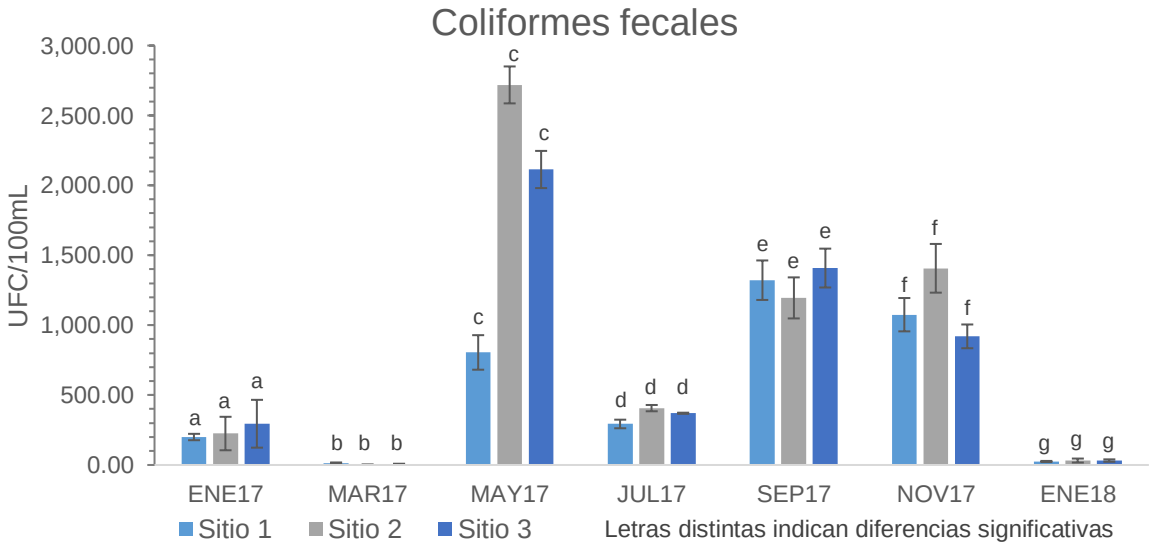


Figura 12. Variación espacio-temporal de los coliformes fecales

5.2. Índice de calidad del agua (ICA) para los sitios de muestreo

Se obtuvieron los valores de ICA promedio de cada sitio en los meses de muestreo (Anexo III). En mayo se presenta el ICA más bajo del periodo estudiado, específicamente para los sitios 2 y 3, con un valor de 56.83 y 58.23 respectivamente. El valor promedio de ICA anual de toda el área de estudio fue de 68.86, se considera como de calidad media de acuerdo a la clasificación del ICA de Brown-NFS.

Con la prueba de Shapiro-Wilk a los valores de ICA calculados, se obtuvo un valor de p=0.040, es decir, los datos no tienen una distribución normal. Con un análisis de Kruskal-Wallis, en espacio no presentaron diferencias significativas (p=0.322), Figura 13.

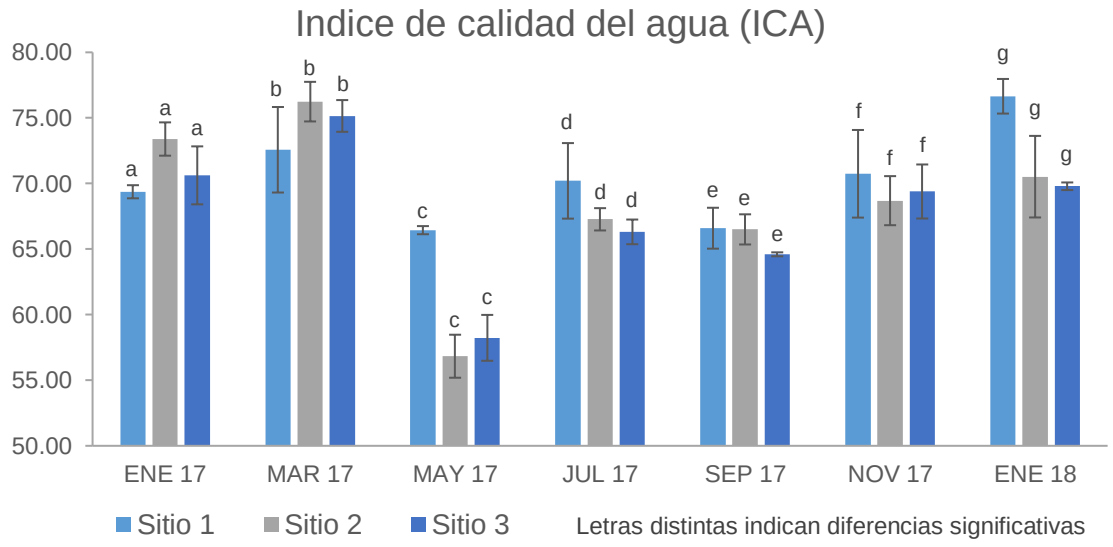


Figura 13. Valores de ICA por sitio y muestreo

En el tiempo se presentaron diferencias significativas (p<0.0001), por lo que se aplicó la prueba de Mann-Whitney para encontrar diferencias en cuanto a la

temporalidad atmosférica, solo existe diferencias entre “nortes” y “lluvias” (Cuadro 4).

Cuadro 4. Prueba de Mann-Whitney para las temporadas atmosféricas

Grupos	Valor de p
Secas – Lluvias	0.548
Secas – Nortes	0.398
Nortes – Lluvias	<0.001

5.3. Variabilidad de los parámetros que determinan la calidad del agua

En el PCA, el primer análisis de interdependencia entre las variables, se obtuvo un valor de KMO = 0.660 y en el Test de Esfericidad de Bartlett un valor de p <0.0001.

En la matriz de correlación de los parámetros estudiados, los que muestran mayores interacciones son la temperatura con los sólidos disueltos totales; los nitratos con los fosfatos, turbiedad y coliformes fecales; los fosfatos con la turbiedad y coliformes fecales; y la turbiedad con los coliformes fecales (Cuadro 5).

Cuadro 5. Matriz de correlaciones

Parámetro	Temp	pH	Nitratos	Fosfatos	DBO_5	OD	SDT	Turbiedad	Coliformes
Temp	1.000								
pH	-0.178	1.000							
Nitratos	0.450	-0.414	1.000						
Fosfatos	0.408	-0.177	**0.626**	1.000					
DBO5	-0.052	0.178	-0.210	-0.006	1.000				
OD	-0.715	0.062	-0.305	-0.512	-0.043	1.000			
SDT	**0.541**	-0.132	0.249	0.246	0.156	-0.238	1.000		
Turbiedad	0.431	-0.427	**0.893**	**0.619**	-0.145	-0.174	0.288	1.000	
Coliformes	0.392	-0.430	**0.833**	**0.588**	-0.331	-0.219	0.055	**0.899**	1.000

De acuerdo a la varianza total explicada, los dos primeros componentes tienen valores superiores a 1.00 y juntos explican más de 64 % de la variabilidad total de los parámetros de calidad del agua. Lo que lleva a una solución de dos componentes, el primer componente explica una variación del 36.83% y el segundo componente el 27.26% (Cuadro 6).

Cuadro 6. Varianza total explicada

Componente	**Autovalores iniciales**			**Suma de extracción de cargas al cuadrado**			**Suma de rotación de cargas al cuadrado**		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	4.109	45.650	45.650	4.109	45.650	45.650	3.315	36.836	36.836
2	1.660	18.446	64.096	1.660	18.446	64.096	2.453	27.260	64.096
3	0.951	10.563	74.659						
4	0.886	9.841	84.500						
5	0.667	7.413	91.913						
6	0.406	4.509	96.422						
7	0.177	1.966	98.388						
8	0.102	1.129	99.517						
9	0.043	0.483	100.000						

Los valores de los factores de la matriz transformadas expresan la relación entre factores y parámetros, con el método de rotación Varimax con la normalización de Kaiser. En el primer componente, se agrupan los coliformes fecales, turbiedad y nitratos. En el segundo componente, se agrupan la temperatura, los sólidos disueltos totales (SDT) y los fosfatos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Matriz de componente rotado

	Componente	
Parámetro	**1**	**2**
Coliformes	**0.931**	0.172
Turbiedad	**0.880**	0.304
Nitratos	**0.860**	0.342
pH	-0.589	
DBO5	-0.475	0.321
Temperatura	0.252	**0.835**
OD		-0.800
SDT		**0.687**
Fosfatos	0.541	**0.551**

En el gráfico de componentes en espacio rotado se aprecian como se agrupan los parámetros. Se observa una fuerte interacción del primer componente (coliformes fecales, turbiedad y nitratos) y en el segundo componente (temperatura, SDT y fosfatos) (Figura 14).

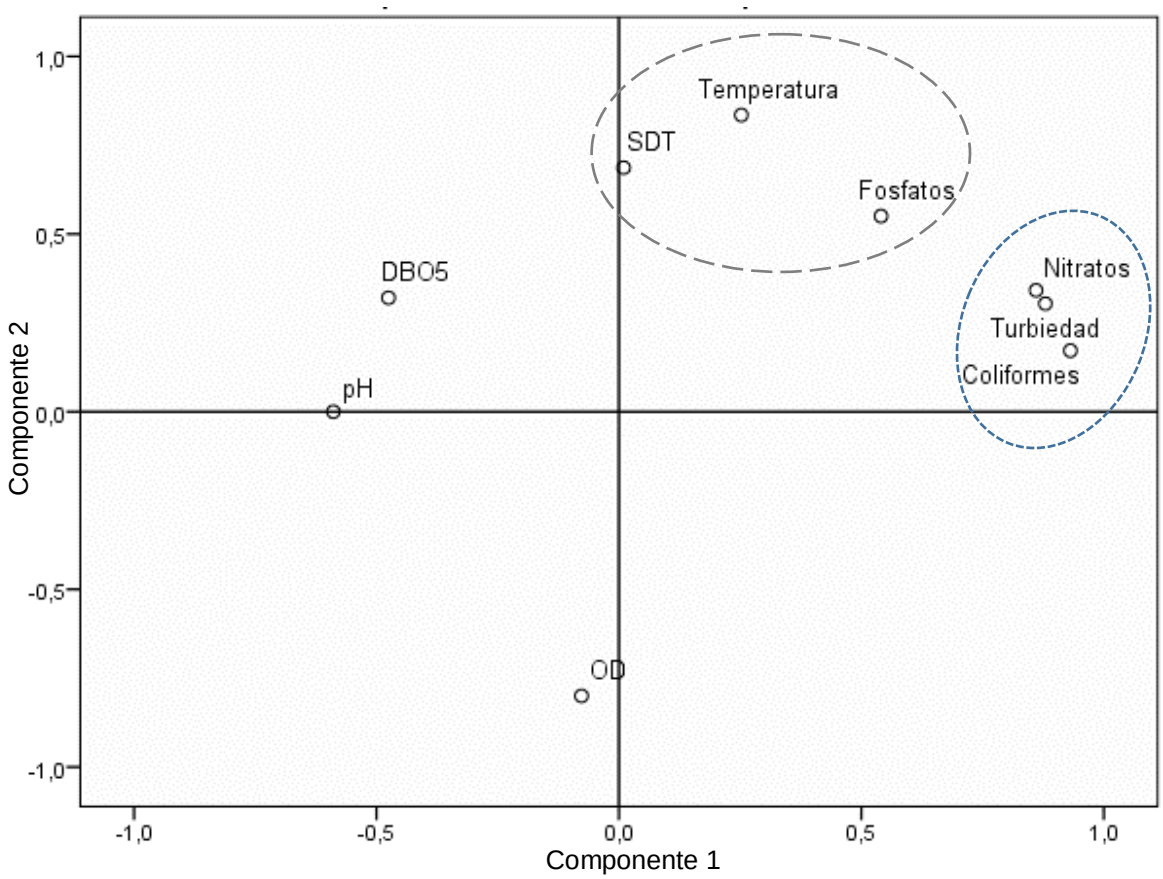


Figura 14. Gráfico de componentes en espacio rotado

VI. DISCUSIÓN

En la determinación de los parámetros fisicoquímicos, las temperaturas del cuerpo de agua registradas no presentaron diferencias entre sitios, pero sí en tiempo con valores similares a la temperatura ambiental de la zona de estudio de acuerdo con las normales de las estaciones climatológicas más cercanas, presentándose los valores más altos en mayo (secas) y las más bajas en enero (nortes), esto podría deberse a que en las corrientes y ríos la temperatura cambia en sincronía con las condiciones atmosféricas y estacionales (Baron y Poff, 2004), ya que diversos estudios reportan que la temperatura del agua es influenciada por la temperatura de la atmosfera (Beltrán-Álvarez *et al*., 2012; Bharamal y Korgaonkar, 2015; Bhat *et al*., 2018; Effendi *et al*., 2015; Rabee *et al*., 2011; Varol *et a*l., 2012).

El pH del agua se mantuvo la mayor parte del periodo estudio entre 6.5 y 7.5, estos valores se encuentran dentro de los límites permisibles de calidad en base a la NOM-127-SSA1-1994 (Agua para uso y consumo humano) y de las guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WHO, 2017) que es de 6.5 – 8.5, por lo cual se puede considerar que el pH del agua en el tramo estudiado es de buena calidad y no tiene efecto adverso sobre la salud humana o de los organismos (Chaturvedi y Bassin, 2010). La diferencia entre los sitios 1 y 3, puede estar influenciada a que en el sitio 3 por su ubicación espacial recibe más escurrimientos de la subcuenca Laxaxalpan y se obtuvieron lecturas de pH ligeramente más ácidos, sugiriendo la influencia de los arrastres de sedimentos

que incrementan la carga de nutrientes al cauce del río (Medeiros *et al*., 2017; Osuna-Osuna *et al.*, 2015; Saalfeld *et al*., 2012).

La concentración de nitratos varió desde el máximo en el sitio 2 en el mes de mayo (3.04 mg/L) hasta un mínimo en el sitio 1 en enero (0.23 mg/L) el cual es inferior a los límites permisibles de calidad de la NOM-127-SSA1-1994 que es de 10 mg/L y son inferiores a los límites de detección de 0.04–4.4 mg/L para agua potable de la OMS (WHO, 2017). Estos valores determinados son inferiores a los reportados por Arriaga-Gaona (2009) de 8.1 a 25.78 mg/L para el sitio Espinal; y Carrillo y Villalobos (2011) de 10.35 mg/L para el sitio “Oriente Medio Día”, Espinal, en estos trabajos los sitios de muestreo se localizaban aguas abajo de la zona de estudio, es decir, a la salida de la cuenca del río Tecolutla, por lo cual es posible que reciba mayor carga contaminante. Así también las concentraciones de nitratos son menores a las reportadas por Olguín *et al*. (2010) en la subcuenca del río Sordo, en Xalapa, Veracruz, que fueron de 0.5 a 10.5 mg/L. Las diferencias estadísticas entre los sitios en donde los sitios 2 y 3 en donde se presentaron concentraciones más altas, sugieren que estos sitios por su ubicación espacial reciben mayores escurrimientos fluviales, escorrentías agrícolas, descargas de aguas residuales que enriquecen el agua del río con compuestos nitrogenados (Adesuyi *et al*., 2015; Bhat *et al*., 2018; Hassan *et al*., 2017; Liu *et al*., 2018; Rabee *et al*., 2011; Rodríguez *et al*., 2012; Sahoo *et al*., 2016; Varol *et al*., 2012; WHO, 2017).

En la determinación de fosfatos se obtuvieron concentraciones de 0.74 a 10.14 mg/L y un promedio anual de 4.83 mg/L, de acuerdo a Jiménez (2001) estos deben mantenerse por debajo de 0.5 mg/L para evitar la proliferación de algas. Chávez-Martínez (2015) reporta un promedio anual de 6.09 mg/L para el río Cazones, es cual es similar a los valores encontrados. La Comunidad Europea recomienda un límite máximo para calidad de agua potable de 6.1 mg/L (Olajire and Imeokparia, 2001) mientras que en Costa Rica el valor máximo admisible es de 25 mg/L, para garantizar la calidad de potabilidad del agua (Bolaños-Alfaro *et al*.,2017), la NOM-127-SSA1-1994 no hace mención de concentraciones máximas permisibles para fosfatos. En mayo (secas) y septiembre (lluvias) se presentaron las concentraciones más altas la cual coincide con los periodos de “secas” y “lluvias”, en la época de estiaje puede deberse a la degradación biológica de la materia orgánica por la entrada de aguas residuales domésticas responsables del aumento de fosfato (Bhat *et al*., 2018; Sahoo *et al*., 2016; Perera *et al*., 2014; Silva *et al*., 2013). En la época de lluvias las altas concentraciones sugieren que las precipitaciones pueden ocasionar que los fosfatos se laven de los suelos agrícolas al cauce de agua (Adesuyi *et al*., 2015; Kumar y Puri, 2012; Qian *et al*., 2013).

El parámetro de DBO_5 entre sitios no existieron diferencias estadísticas significativas, lo que se puede explicar como un resultado de la relativa cercanía entre los sitios, se determinaron concentraciones de 0.52 a 4.4 mg/L, que de acuerdo a la escala de clasificación de calidad de agua superficial con base en la demanda bioquímica de oxígeno de la CONAGUA (2017) se considera $DBO_5 \leq 3$

como excelente calidad y $3<DBO_5 \leq 6$ como de buena calidad. De acuerdo a la CONAGUA (2017) en el reporte de monitoreo de la calidad del agua superficial 2012 – 2016 para el río Necaxa (cercana al área de estudio y que son de la misma cuenca del Tecolutla) se reportan valores de 3.1 a 4.14 mg/L y para los sitios del río Tecolutla aguas abajo de la zona de estudio valores de 0.5 mg/L, se observa una incongruencia en los datos proporcionados por la dependencia, ya que para la misma cuenca del rio los valores disminuyen aguas abajo. En los trabajos de Arriaga-Gaona (2009) y Carrillo y Villalobos (2011) las concentraciones promedio son de 14 - 76 mg/L y de 62.77 mg/L respectivamente, los cuales son valores altos en comparación con los determinados en este estudio y con los reportados por Chávez-Martínez (2015) para el río cazones con un promedio anual de 16.71 mg/L, siendo valores a la salida de sus respectivas cuencas, por lo que una mayor concentración de DBO_5 sugiere una alta carga de contaminación orgánica relacionada a descargas de aguas residuales (Bora y Goswami, 2017; Espinal-Carreón *et al*., 2013; Sánchez *et al*., 2007).

El oxígeno disuelto no presentó diferencias estadísticas entre sitios, lo que se puede explicar como un resultado de la relativa cercanía entre sitios, pero si hubo diferencias temporales, en los muestreos realizados en 2017 las concentraciones variaron de 61.96 a 132.46 % de saturación, estos altos valores pueden ser inducidos por la geomorfología del cauce, atribuyendo la oxigenación que el agua tiene en la parte alta de la cuenca ocasionada por pendientes pronunciadas (Jiménez y Vélez, 2006). De acuerdo a la escala de clasificación de calidad del

agua superficial con base en el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto de la CONAGUA (2017) valores de 70 <OD<=110 son considerados con calidad excelente, por lo que en el tramo estudiado se puede considerarse dentro esa clasificación. Las concentraciones más altas de oxígeno disuelto se presentaron en 2018, donde el agua también presento las temperaturas más bajas, Effendi *et al*. (2015) menciona que cuanto más fría es el agua, más oxígeno puede contener.

En la determinación de Sólidos Disueltos Totales (SDT) presentaron diferencias significativas en espacio y tiempo, se obtuvieron concentraciones de 80.33 a 120.33 mg/L, que son similares a los reportados por Arriaga-Gaona (2009) y Carrillo y Villalobos (2011) con concentraciones promedio de 121.81 mg/L y 120.48 mg/L respectivamente, localizadas aguas abajo de la zona de estudio. Y por lo obtenido por Chávez-Martínez (2015) para el río cazones con un promedio anual de 122.82 mg/L. Las diferencias en la concentración de los SDT podrían ser atribuidas al aumento en la carga de sales solubles, nutrientes, escorrentía superficial, aguas residuales del área de captación (Hassan *et al*., 2017; Kalavathy *et al*., 2011). El sabor del agua con una concentración de SDT menor que 600 mg/L suele considerarse aceptable, pero a concentraciones mayores a 1000 mg/L, la aceptabilidad del sabor del agua de consumo humano disminuye significativamente (WHO, 2017).

Para el parámetro de turbiedad, se presentaron diferencias significativas en espacio y tiempo, en mayo, septiembre y noviembre se supera el límite máximo permisible

para la turbiedad de acuerdo a la NOM-127- SSA1-1994, que es de 5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente. Las diferencias temporales pueden estar relacionadas a la precipitación pluvial, en época de lluvias se llegan a presentar un gran arrastre de sedimentos ejerciendo escorrentía superficial, erosión del suelo y flotación de las partículas (Bhutiani *et al*.,2018; Panda *et al*., 2018; Ospina-Zúñiga *et al*., 2016; Leandro *et al*., 2010). Las diferencias entre sitios de igual forma pueden estar ligado a que en los sitios 2 y 3 reciben más escurrimientos de la parte alta de la cuenca, Leandro *et al*. (2010) reporta una tendencia creciente en la concentración de sólidos totales y la turbiedad conforme disminuye la altitud, es decir, aguas abajo en el río Virilla de Costa Rica.

El parámetro detonador de la mala calidad del agua en los muestreos realizados son los coliformes, que se manifiesta en los tres sitios, ya que no existieron diferencias significativas entre sitios, esto sugiere que las descargas de aguas residuales y escurrimientos a lo largo de la corriente del río Laxaxalpan afecta la calidad del agua. De acuerdo a la CONAGUA (2017) valores de $1{,}000 < CF \leq 10{,}000$ se consideran como agua superficial con contaminación bacteriológica, lo cual ocurre en los meses de mayo (2,113.33 UFC/100 mL) y septiembre (1,408.33 UFC/100 mL) para el sitio 3, lugar donde se localiza la obra de toma para abastecer de agua a Filomeno Mata. Aun así, estos valores son menores a los reportados por la CONAGUA (2017) para la misma cuenca del Tecolutla en el sitio Espinal se reporta un valor de 3, 255 NMP/100 mL. Arriaga-Gaona (2009) para el mismo sitio, Espinal, reportó valores superiores a los 10,000 UFC/100 mL en los meses de

estudio, clasificándolo como aguas superficiales con fuerte contaminación bacteriológica, siendo estos valores a la salida de la cuenca. Una concentración relativamente alta de coliformes fecales, sugiere múltiples entradas de carga de patógenos de fuentes puntuales y no puntuales a lo largo de su curso, como lo son las descargas de aguas residuales tratadas y no tratadas (Avigliano and Schenone, 2015; Kirschner *et al*., 2017; Mitch *et al*., 2010; Rodríguez-Tapia and Morales-Novelo, 2017).

De acuerdo a los ICA obtenidos de un mínimo de 56.83 en mayo (sitio 2) y un máximo de 76.65 en enero de 2018 (sitio 1), la mayor parte del tiempo se clasifica como de calidad media, espacialmente no presentaron diferencias significativas, lo que se puede explicar como un resultado de la relativa cercanía entre sitios. En cuanto a temporalidad las diferencias presentadas entre “nortes” y “lluvias”, sugiere que los escurrimientos provocados por las lluvias arrastran contaminantes al cauce incrementando su concentración en el agua (Guzmán-Colis *et al*., 2011). Comparando el ICA obtenido por Arriaga-Gaona (2009) de septiembre de 2007 a febrero de 2008, aguas abajo de la zona de estudio (sitio Espinal), en la misma cuenca del río Tecolutla y utilizando la misma metodología (Brown-NFS), reportó un ICA que va de 40.64 (mala) a 55.17 (media), por lo que la calidad disminuye a la salida de la cuenca, similar a los reportado por diversos autores, aumentos en el nivel de contaminación de la parte alta hacia la parte baja (Espinosa y Rodriguez, 2016; González *et al*., 2013; Jiménez y Vélez en 2006; Leandro *et al*., 2010; Zeinalzadeh y Rezaei, 2017). La disminución de la calidad del agua en mayo (época

de secas), sugiere que la reducción de los flujos de los ríos incremento la concentración de contaminantes (Sun *et al*., 2016; Zeinalzadeh y Rezaei, 2017; Zhang *et al*., 2014), como ocurrió en este estudio, ya que se determinaron valores más altos de temperatura, nitratos, fosfatos, SDT, turbiedad y coliformes fecales.

El PCA determinó que el primer componente explica una variación del 36.83% en la que se agrupan los coliformes fecales, turbiedad y nitratos, dado que estos parámetros presentaron alta correlación entre ellos, lo que sugiere que tiene un origen en común, debido a la carga de nutrientes en el cauce, por entradas puntales (descarga de aguas residuales) y no puntuales (escurrimientos) (Barakat *et al*., 2016; Finkler *et al*., 2015; Zeinalzadeh y Rezaei, 2017). El segundo componente, explica el 27.26% de la varianza y se agrupan la temperatura, los SDT y fosfatos, lo cual podría estar relacionado la descarga de aguas residuales con detergente y al escurrimiento agrícola con fertilizantes de fosfato (Girão *et al*., 2007; Hassan *et al*., 2017; Kumar y Puri, 2012; Varol *et a*l., 2012) ya que esta cuenca tiene un déficit de tratamiento de aguas residuales superior al 80% (Bunge, 2010).

VII. CONCLUSIONES

Se determinaron nueve parámetros: temperatura, pH, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno a 5 días, oxígeno disuelto, solidos disueltos totales, turbiedad y coliformes fecales. Temporalmente en todos los parámetros se presentaron diferencias significativas. Espacialmente solo existieron diferencias en: pH, nitratos, fosfatos, SDT y turbiedad, estas diferencias se presentaron principalmente entre los sitios 1 y 2, y los sitios 1 y 3.

Se obtuvo un ICA en los sitios durante el periodo de estudio, para el sitio 1 fue de 70.37 ± 3.28, calidad media a buena; en el sitio 2 fue 68.49 ± 5.73, calidad media a buena; y para el sitio 3 se tuvo 67.73 ± 4.96, en este último sitio es donde se localiza la obra de toma para abastecer de agua a Filomeno Mata, Veracruz, durante este periodo estudiado se encontró calidad media a buena.

Los ICA obtenidos durante el periodo de estudio no tuvieron diferencias significativas entre sitios, posiblemente atribuidas a la relativa cercanía entre estos. Las diferencias en la temporalidad atmosféricas están relacionadas a las variaciones que presentaron los parámetros en el tiempo, la cual se reflejan en la determinación del índice de calidad del agua.

Los parámetros más importantes que definen la calidad del agua en la zona de estudio, con base al análisis de componentes principales fueron en un primer

componente integrado por coliformes fecales, turbiedad y nitratos. En el segundo componente, se agruparon la temperatura, solidos disueltos totales y fosfatos. Estos parámetros explican más de 64 % de la variabilidad de los datos.

Los parámetros estudiados revelaron un índice de calidad del agua con un rango de 56.83 a 76.65 y un promedio anual de 68.86, indicando una “Calidad Media” con base en el índice de Brown-NSF. Espacialmente no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los sitios estudiados. Temporalmente solo se encontraron diferencias significativas en los periodos de “nortes” y “lluvias”.

7.1. Aplicaciones prácticas del trabajo de intervención

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son de gran utilidad en la zona de estudio, ya que brindan información oportuna y actual del estado que guarda la calidad del agua y la variación que presenta a lo largo de las diferentes épocas del año. Para así poder llevar a cabo acciones concretas para afrontar los problemas de contaminación del agua, así como realizar un adecuado manejo y gestión del recurso.

Acción 1. Los resultados encontrados en el río Laxaxalpan, ayudan al gobierno municipal de Filomeno Mata, dependencias estatales como CAEV y Secretaria de Salud para la sensibilización de la importancia de protección y conservación que tienen esta fuente potencial de agua para abastecimiento público.

Acción 2. La información sirve como base para la formulación de un plan municipal de desarrollo para Filomeno Mata, Veracruz, en cuanto al uso y manejo del agua para abastecimiento público.

Acción 3. De acuerdo a los parámetros determinados es necesario la creación y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales en toda la subcuenca para no seguir contaminando al río Laxaxalpan.

Acción 4. Proporciona bases para guiar a las autoridades y a los tomadores de decisiones hacia esquemas de monitoreo diseñados óptimamente para el manejo y gestión del agua en el río Laxaxalpan.

Acción 5. Proporciona las bases para un plan de monitoreo para la calidad del agua que llega a Filomeno Mata, así como a una muestra representativa en los domicilios de los usuarios, para determinar que se cumpla con la norma NOM-127-SSA1-1994.

Acción 6. Este estudio proporciona una base seria sólida para la formulación de campañas de sensibilización en el uso y cuidado del agua, especialmente en el periodo de “secas” y “lluvias”.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Adesuyi, A.A., Nnodu, V.C., Njoku, K.L. and Jolaoso, A. 2015. Nitrate and Phosphate Pollution in Surface Water of Nwaja Creek, Port Harcourt, Niger Delta, Nigeria. International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences. 3 (5): 14-20.
- Arreguín-Cortés, F.I. Alcocer-Yamanaka, V., Marengo-Mogollón, H., Cervantes-Jaimes, C., Albornoz-Góngora, P. y Salinas Juárez, M. G. 2010. Los retos del agua. pp. 51-77. El agua en México: cauces y encauces. Comisión Nacional del Agua. México, DF.
- Arriaga-Gaona M.L., Hernández-Limón L., Sandoval-Reyes F., Vera-Lara J., Vargas-Moreno E. y García-Roja L. 2009. Monitoreo de la calidad del agua del río Tecolutla desde Coyutla hasta Gutiérrez Zamora, Ver. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 5 (2): 141-147.
- Avendaño, A. J.O. 2013. Variación hidrológica intermensual del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Boca del Río, México.
- Avigliano, E. and Schenone, N. F. 2015. Human Health Risk Assessment and Environmental Distribution of Trace Elements, Glyphosate, Fecal Coliform and Total Coliform in Atlantic Rainforest Mountain Rivers (South America). Microchemical Journal. 122: 149-158.
- Baron, J.S. y Poff, N. L. 2004. Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems. Water resources update. 127: 52-58.

- Beaumont, R. 2012. An introduction to Principal Component Analysis & Factor Analysis Using SPSS 19 and R (psych package). [Actualizado al 2 de enero de 2018 http://www.floppybunny.org/robin/web/virtualclassroom/stats/statistics2/pca1.pdf]
- Beltrán-Álvarez, R., Ramírez-Lozano J.P. y Sánchez-Palacios, J. 2012. Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México. Hidrobiológica. 22 (1): 94-98.
- Bharti, N. y Katyal, D. 2011. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. International Journal of Environmental Sciences. 2 (1).
- Bhat, B.N., Parveen, S. y Hassan, T. 2018. Seasonal assessment of physicochemical parameters and evaluation of water quality of river Yamuna, India. Advances in Environmental Technology. 1: 41-49.
- Bhutiani R., Faheem, A., Varun, T. and Khushi, R. 2018. Evaluation of water quality of River Malin using water quality index (WQI) at Najibabad, Bijnor (UP) India. Environment Conservation Journal. 19(1&2): 191-201.
- Bora, M. & Goswami, D.C. 2017. Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): case study of the Kolong River, Assam, India. Appl Water Sci.7: 3125-3135.
- Bunge, V. 2010. El estado de saneamiento en las cuencas de México. Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización. SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología. Fundación Gonzalo Río Arronte. México.

- Carrillo, C. A.G. y Villalobos, A. R. 2011. Análisis comparativo de los índices de calidad del agua los ríos Tecolutla y Cazones en el periodo marzo-diciembre 2010. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana. México.
- Chávez-Martínez, L.N. 2015. Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, México.
- CONAGUA, 2014. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Comisión Nacional del Agua. México, D.F. 302 pp.
- CONAGUA, 2017. Monitoreo de calidad del agua de 2012 – 2016. Comisión Nacional del Agua. [actualizado al 20 de junio de 2018]. Página electrónica (http://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf).
- CONAGUA, 2018. Información Climatológica. Normales Climatológicas. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. [actualizado al 06 de junio]. Página electrónica (http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica).
- CONAPO, 2016. Proyecciones de la Población 2010-2050. Estimaciones del Consejo Nacional de Población. Dirección General de Estudios Sociodemográficos y Prospectiva. [actualizado al 25 de septiembre]. Página electrónica (http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones). México.
- Dimas, M.J.J., Garza, M. N.D., Treviño y D. B. M. 2015. Índice de la calidad del agua y metales pesados del cauce aguas blancas del municipio de

Acapulco Guerrero, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 1, pp. 113-118.

- Effendi, H., Romanto, y Wardiatnob, Y. 2015. Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. Procedia Environmental Sciences. 24: 228 – 237.
- Espinal-Carreón, T., Sedeño-Díaz, J.E., y López-López, E. 2013. Evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. Revista internacional de contaminación ambiental. 29(3): 147-163.
- Espinosa, P. T.M., Rodriguez, C. 2016. Nota técnica: Determinación del índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Morón y Patanemo del Estado Carabobo, en Venezuela. Revista INGENIERÍA UC. 23 (2): 204-215.
- Finkler, N., Peresin, D., Cocconi, J., Bortolin, T., Rech, A., Schneider, V. 2015. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. 10 (4): 782-792.
- Galindo, J.A., Vázquez-Castán, L., Cruz-Lucas, M.A., López-Ortega, M., San Martín del Ángel, P. 2005. Contaminación del Río Cazones, Veracruz, México durante el periodo octubre 2004 - junio 2005. Revista UDO Agrícola. 5(1): 74-80.

- Girão, E. G., De Andrade, E., De Freitas, M. R., Araújo, L. P., Meireles, A. M. 2007. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. Revista Ciência Agronômica. 38 (1): 17-24.
- Gobierno del Estado de Veracruz (GEV), 2016. Plan Veracruzano de Desarrollo 2016-2018. Gaceta oficial órgano del gobierno del estado de Veracruz de Ignacio de La Llave Xalapa, México.
- Gobierno del Estado de Veracruz (GEV), 2018. Calendario de Temporadas y Fenómenos Meteorológicos para el Estado de Veracruz. Secretaria de Protección Civil. [actualizado al 26 de mayo]. Página electrónica (http:// www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/5/2017/05/CALENDARIO-2107.pdf)
- González, M. V., Caicedo, Q. O., Aguirre, R. N. 2013. Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. Revista Gestión y Ambiente. 16 (1):97-108.
- Guzmán-Colis, G., Thalasso, F., Ramírez-López, E., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A., Avelar-González, F. 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.

- Hassan, T., Parveen, S., Bhat, B.N. and Ahmad, U. 2017. Seasonal Variations in Water Quality Parameters of River Yamuna, India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6 (5): 694-712.
- Houbron, E. 2010. Calidad del agua. pp. 147-170. Patrimonio Natural. Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. Comisión del estado de Veracruz para la conmemoración de la independencia nacional y la revolución mexicana. Universidad Veracruzana. México.
- IBM Corp. Released. 2012. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Ilker Etikan, Sulaiman Abubakar Musa, Rukayya Sunusi Alkassim. 2016. Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling. American Journal of Theoretical and Applied Statistics. 5(1): 1-4
- INEGI, 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de estadística y geografía. México.
- INEGI, 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Filomeno Mata, Veracruz de Ignacio de la Llave. Instituto Nacional de estadística y geografía. México.
- INEGI, 2015. Cartas Topográficas Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III. E14B13 (Chignahuapan). México.

- INEGI, 2015. Cartas Topográficas Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III. F14D84 (Filomeno Mata). México.
- Jáuregui-Medina, C., Ramírez-Hernández, S., Espinosa-Rodríguez, M.A., Tovar-Rodarte, R., Quintero-Hernández, B., Rodríguez-Castañeda, I. 2007. Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 3 (1): 65-73.
- Jianqin, M., Jingjing, G., y Xiaojie, L. 2010. Water Quality Evaluation Model Based on Principal Component Analysis and Information Entropy: Application in Jinshui River. Journal of Resources and Ecology. 1(3):249-252.
- Jiménez, C B. 2001. La Contaminación Ambiental en México – Causas, Efectos y Tecnología Apropiada. Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA. México, DF.
- Jiménez, C. B., Duran, A.J.C., Méndez, C. J.M. 2010. Calidad. pp. 265-77. El agua en México: cauces y encauces. Comisión Nacional del Agua. México, DF.
- Jiménez, J. M.A. y Vélez, O. M.V. 2006. Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. AVANCES EN RECURSOS HIDRÁULICOS. 14.

- Kalavathy, S., Sharma, T.R., and Sureshkumar, P. 2011. Water Quality Index of River Cauvery in Tiruchirappalli district, Tamilnadu. Archives of Environmental Science. 5: 55-61.
- Kirschner, A.K., Reischer, G.H., Jakwerth, S., Savio, D.F., Ixenmaier, S.K., Tóth, E.M., Sommer, R., Mach, R.L., Linke, R., Eiler, A., Kolarević, S., & Farnleitner, A.H. 2017. Multiparametric monitoring of microbial faecal pollution reveals the dominance of human contamination along the whole Danube River. Water research. 124: 543-555.
- Kumar, M., y Puri, A. (2012). A review of permissible limits of drinking water. Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine. 16(1): 40–44.
- La Jornada. 2007. [actualizado al 17 de febrero]. Página electrónica (http://www.jornada.unam.mx/2007/06/02/index.php?section=estados&article=026n3est).
- Landburg, G. 2013. Water Quality Assessment of the Palumeu River. A Rapid Biological Assessment of the Upper Palumeu River Watershed (Grensgebergte and Kasikasima) of Southeastern Suriname: 52-56.
- Landburg, G. y Hardjoprajitno, M. 2013. A Baseline Water Quality Assessment of the Kutari and Sipaliwini Rivers. A Rapid Biological Assessment of the Kwamalasamutu region, Southwestern Suriname:38-42.
- Leandro, H., & Coto, J., & Salgado, V. 2010. Calidad Del Agua De Los Ríos De La Microcuenca IV del Río Virilla. Uniciencia. 24: 69-74.

- Liu, Y., Zhu, Y., Qiao, X., Zheng, B., Chang, S.C., & Fu, Q. 2018. Investigation of nitrogen and phosphorus contents in water in the tributaries of Danjiangkou Reservoir. Royal Society open science. 5.
- Medeiros, A.C. 2017. Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. Marine Pollution Bulletin. 123: 156–164.
- Mitch, A.A., Gasner, K.C. and Mitch, K.C. 2010. Fecal coliform accumulation within a river subject to seasonally-disinfected wastewater discharges. Water Research. 44(16):4776-4782.
- Mustapha, A. y Abdu, A. 2012. Application of Principal Component Analysis & Multiple Regression Models in Surface Water Quality Assessment. Journal of Environment and Earth Science. 2 (2).
- NMX-AA-007-SCFI-2013. Norma mexicana. Análisis de agua – medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-008-SCFI-2011. Norma mexicana. Análisis de agua - determinación del ph - método de prueba.
- NMX-AA-012-SCFI-2001. Norma mexicana. Análisis de agua - determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-014-1980. Norma mexicana. Cuerpos receptores. Muestreo.

- NMX-AA-028-SCFI-2001. Norma mexicana. Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO_5) y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-029-SCFI-2001. Norma mexicana. Análisis de aguas - determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-034-SCFI-2015. Norma mexicana. Análisis de agua - medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-038-SCFI-2001. Norma mexicana. Análisis de agua - determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-079-SCFI-2001. Norma mexicana. Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-102-SCFI-2006. Norma mexicana. Calidad del agua – detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva – método de filtración en membrana.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma oficial mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

- NOM-004-SEMARNAT-2002. Norma Oficial Mexicana. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Olajire, A.A. and Imeokparia, F. E. 2001. Water Quality Assessment of Osun River: Studies on Inorganic Nutrients. Environmental Monitoring and Assessment. 69: 17–28.
- Olguín, E.J., González-Portela, R.E., Sánchez-Galván, G., Zamora-Castro, J.E. y 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.
- Ospina-Zúñiga, O., García-Cobas, G., Gordillo-Rivera, J., Tovar-Hernández, K. 2016. Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia)", Ingeniería Solidaria. 12(19): 19-36.
- Osuna-Osuna, A. K., Díaz-Torres, J. J., Anda-Sánchez, J., Villegas-García, E., Gallardo-Valdez, J., y Davila-Vazquez, G. 2015. Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. Revista Ambiente & Agua. 10(2): 350-362.

- Osuna-Osuna, A. K., White J.D., de Anda, J., Díaz-Torres, J. J., Dávila-Vázquez, G. 2015. Estimación de la carga de sedimentos en la cuenca del río Tecolutla utilizando el modelo SWAT. 1er Congreso Iberoamericano sobre sedimentos y ecología Querétaro, México.
- Otzen, T. y Manterola, C. 2017. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. International Journal of Morphology. 35(1): 227-232.
- Panda, P. K., Panda, R. B., & Dash, P. K. 2018. The River Water Pollution in India & Abroad-A Critical Review to Study the Relationship among Different Physico-chemical Parameters. American Journal of Water Resources. 6(1): 25-38.
- Perera, P.A.C.T., Sundarabarathy, T.V., Sivananthawerl, T. y Edirisinghe, U. 2014. Seasonal Variation of Water Quality Parameters in Different Geomorphic Channels of the Upper Malwathu Oya in Anuradhapura, Sri Lanka. Tropical Agricultural Research. 25 (2): 158 – 170.
- Pereyra-Díaz, D. Pérez-Sesma, J.A.A. Salas-Ortega, M.R. 2010. Hidrología. pp. 85-122. Patrimonio Natural. Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. Comisión del estado de Veracruz para la conmemoración de la independencia nacional y la revolución mexicana. Universidad Veracruzana. México.
- Pérez-Maqueo, O., Muñoz-Villers, L., Vázquez G., Equihua Zamora, M., León Romero, P. 2011. Hidrología. pp.289-292. La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Vol. I. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de

la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.

- Qian, Q., Parajuli, B., Fu, Q., Yan, K., Gossage, J., and Ho, T. 2013. Assessment of Acid Deposition Effects on Water Quality of the Upper Rio Grande River Section in Texas. Journal of Water Resource and Protection. 5(8): 792-800.
- Rabee, A., Abdul-Kareem, B. and Al-Dhamin, A. 2011. Seasonal Variations of Some Ecological Parameters in Tigris River Water at Baghdad Region, Iraq. Journal of Water Resource and Protection. 3(4): 262-267.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
- Ramos-Herrera, S., Broca-Martínez, L. F., Laines-Canepa, J. R., Carrera-Velueta, J. M. 2012. Tendencia de la calidad del agua en ríos de Tabasco, México. Ingeniería. 16 (3): 207-217.
- Ray, S., Bari, S.H., y Shuvro, S.D. 2015. Assessment of Water Quality of Goalichara: A Water Quality Index Based Approach. ARPN Journal of Science and Technology. 5 (7): 336-340.
- Restrepo, L., Posada, S., Noguera, R. 2012. Aplicación del análisis por componentes principales en la evaluación de tres variedades de pasto. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 25 (2): 258-266.

- Riojas, R. H., Hurtado, D. M., Castañeda, M. A., Santos, L. R., Hernandez, A. J.E. 2010. Mortalidad por enfermedades diarreicas en cuencas hidrográficas. Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización. SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología. Fundación Gonzalo Río Arronte. México.
- Rodríguez, S., Gauna, L., Martínez, G., Acevedo, H. y Romero, C.2012. Relación del nitrato sobre la contaminación bacteriana del agua. Terra Latinoamericana. 30 (2): 111-119.
- Rodríguez-Tapia, L., & Morales-Novelo, J. A. 2017. Bacterial Pollution in River Waters and Gastrointestinal Diseases. International journal of environmental research and public health. 14(5): 479.
- Romero, S. M. 2013. Contraste de Hipótesis; Comparación de dos medias independientes mediante pruebas no paramétricas: Prueba U de Mann-Whitney. Enfermería del Trabajo. 3: 77-84.
- Saalfeld, T.D., Reutebuch, M. E., Dickey, J.R., Seesock, C.W., Webber, C., Bayne, R.D. 2012. Effects of Landscape Characteristics on Water Quality and Fish Assemblages in the Tallapoosa River Basin, Alabama. Southeastern Naturalist. 11 (2): 239-252.
- Sahoo, M., Mahananda, M.R. and Seth, P. 2016. Physico-Chemical Analysis of Surface and Groundwater around Talcher Coal Field, District Angul, Odisha, India. Journal of Geoscience and Environment Protection. 4:26-37.

- Samboni-Ruiz, Carvajal-Escobar, Escobar. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación. 27 (3): 172-181.
- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, H. R y Zambrano, L. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). D.F. México. 297 pp.
- Silva, J. T., Moncayo, R., Ochoa, S., Estrada, F., & Cárdena, G., Escalera, C., Villalpando, F., Nava, J., Ramos, A., López, M. 2013. Calidad química del agua subterránea y superficial en la cuenca del río Duero, Michoacán. Tecnología y Ciencias del Agua. IV (5): 127-146.
- Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), 2014. Compendio de estadísticas ambientales edición 2014. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) [actualizado al 11 de enero de 2017]. Página electrónica (http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2014/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html), México.
- Sun, W., Xia, C., Xu, M., Guo, J., Sun, G. 2016. Application of modified water quality indices as indicators to assessthe spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River. Ecological Indicators. 66: 306-312.
- Tirkey, P., Bhattacharya, T., Chakraborty, S. 2015. Water quality indices-important toolsfor water quality assessment: a review. International Journal of Advances in Chemistry. 1(1):15-29.

- Toledo-Alejandro. 2002. El agua en México y el mundo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Distrito Federal, México. Gaceta Ecológica. 64: 9-18.
- Universidad Autónoma Chapingo. 2006. Ordenamiento Ecológico Territorial de las Cuencas Hidrológicas de los Ríos Necaxa y Laxaxalpan. México.
- Vallejo-Rodríguez, R., León-Becerril, E., Díaz-Torres, J.J., Hernández-Mena, L., Del Real-Olvera, J., Flores-Payán, V., Martínez-Mendoza, L.J., López-López, A. 2017. Water Quality Index of Lake Chapala in Mexico and its potential risk to public health. XVI World Water Congress. International Water Resources Association. Cancun, México.
- Varol, M., Gökot, B., Bekleyen, A. and Şen, B. 2012. Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. Catena. 92: 11–21.
- Walsh, P. y Wheeler, W. 2012. Water Quality Index Aggregation and Cost Benefit Analysis. US Environmental Protection Agency. National Center for Environmental Economics. NCEE Working Paper Series. Working Paper # 12-05.
- World Health Organization (WHO). 2017. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2016. Agua y empleo. Informe de las Naciones Unidas

sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016. París, UNESCO.

- Zhang, Z., Chen, Y. Wang, P., Shuai, J., Tao, F., and Shi, P. 2014. River discharge, land use change, and surface water quality in the Xiangjiang River, China. Hydrological Processes. 28: 4130-4140.
- Zeinalzadeh, K., Rezaei, E. 2017. Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. Journal of Hydrology: Regional Studies. 13:1-10.

Anexo I

Curvas de función para los nuevos parámetros del índice de Brown-NFS utilizadas para el cálculo del ICA (Samboni-Ruiz *et al*., 2007).

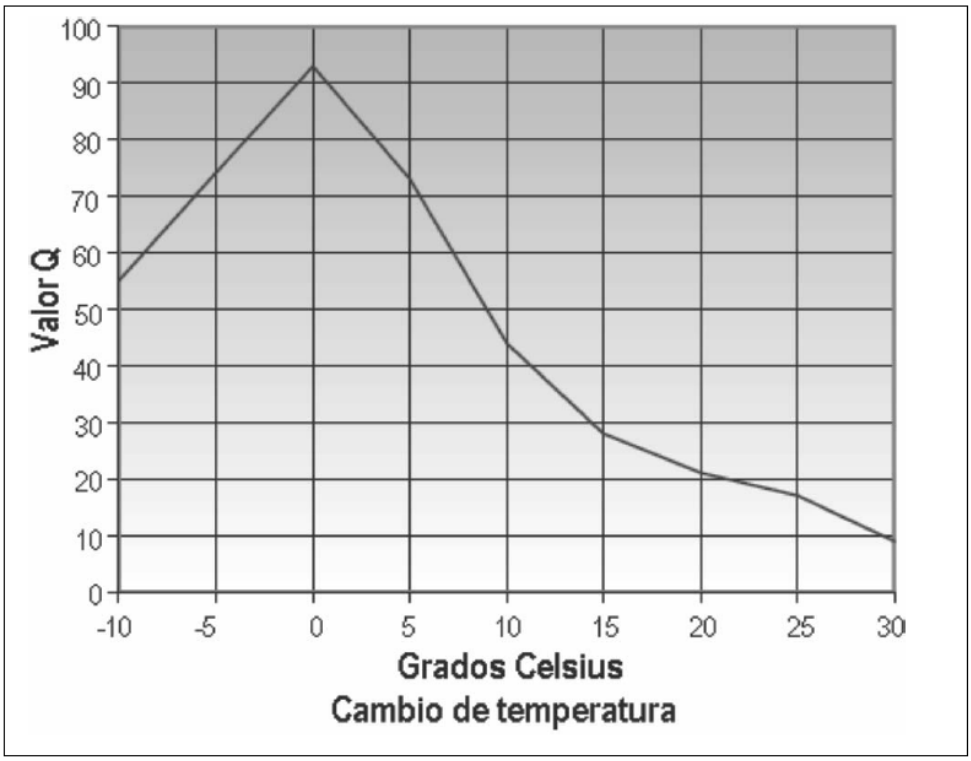


Figura 15. Curva de función de cambio de temperatura

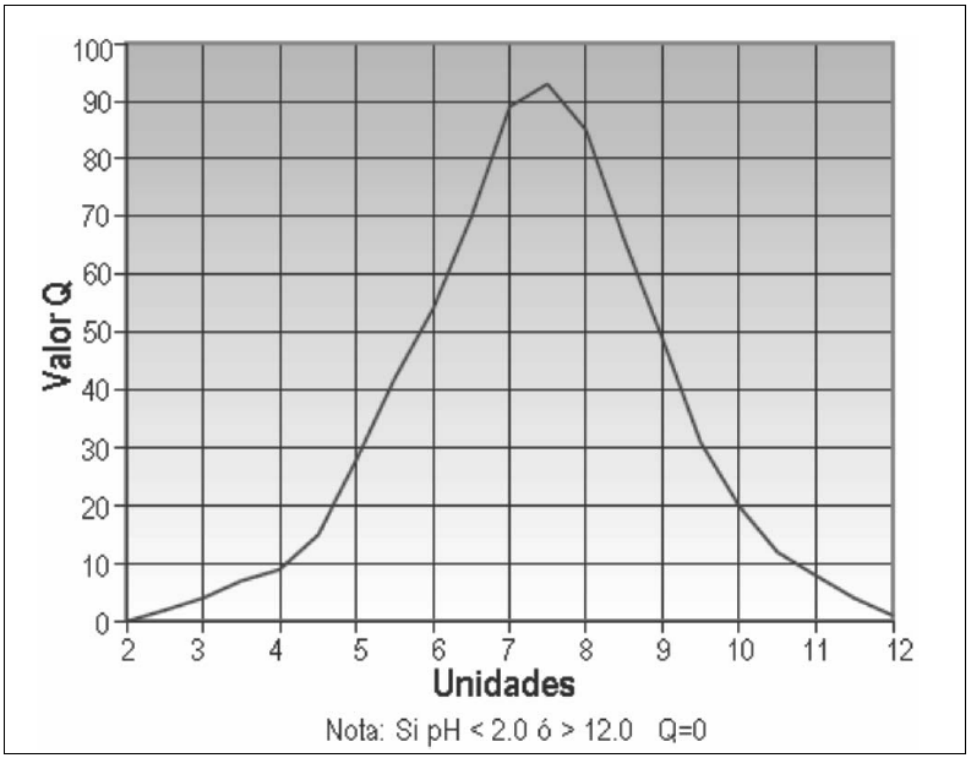


Figura 16. Curva de función de pH

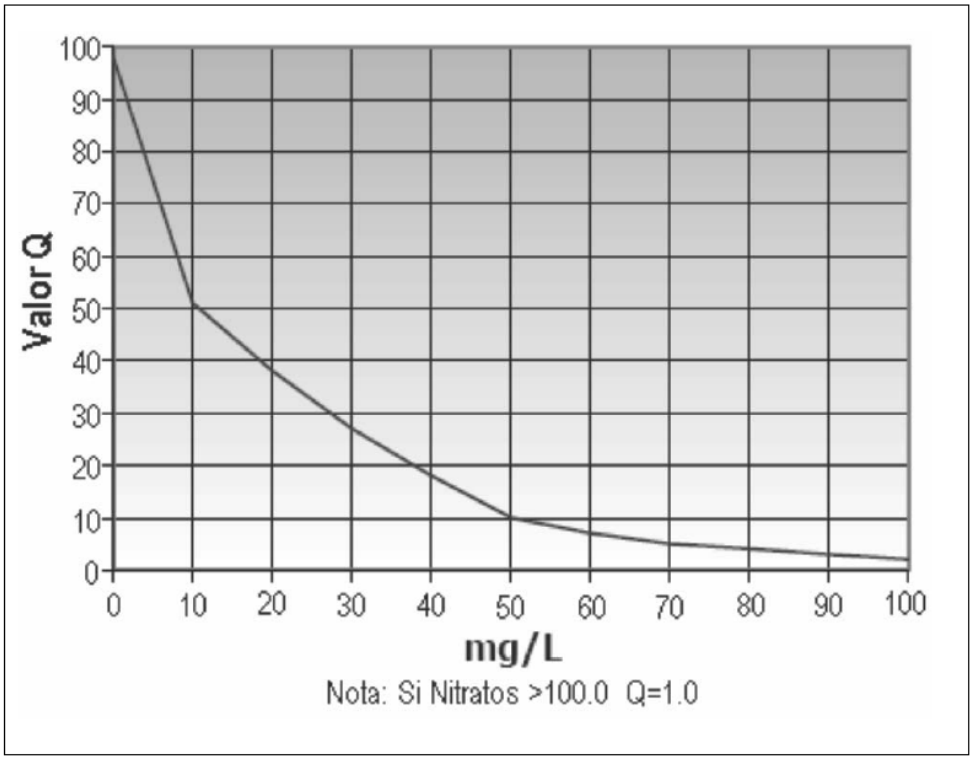


Figura 17. Curva de función de nitratos

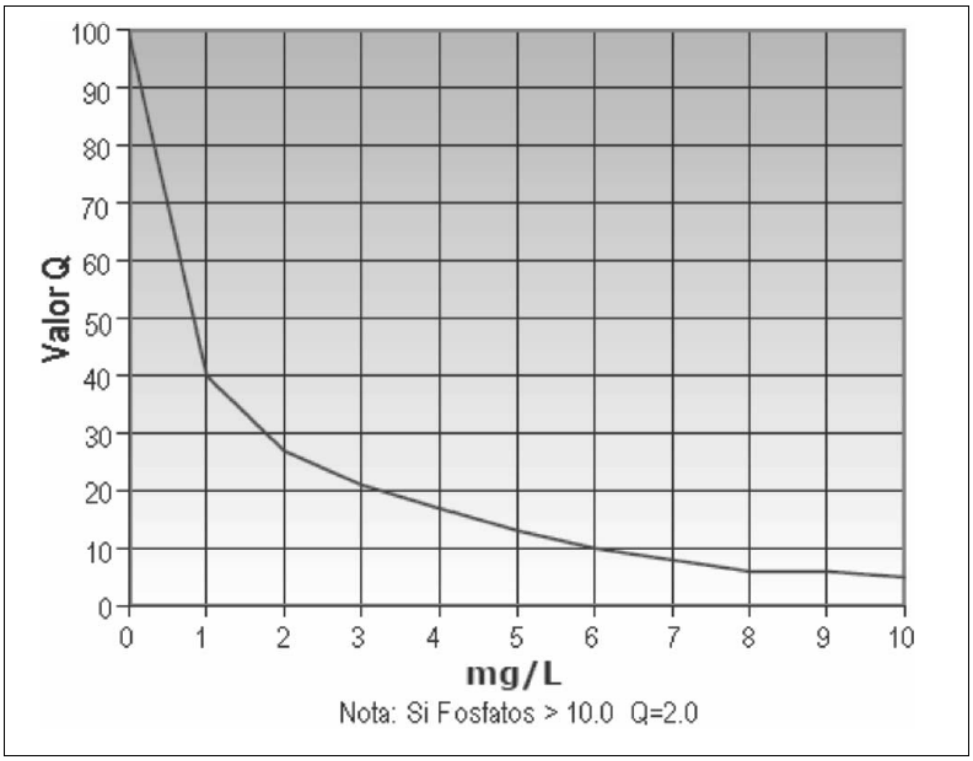


Figura 18. Curva de función de fosfatos

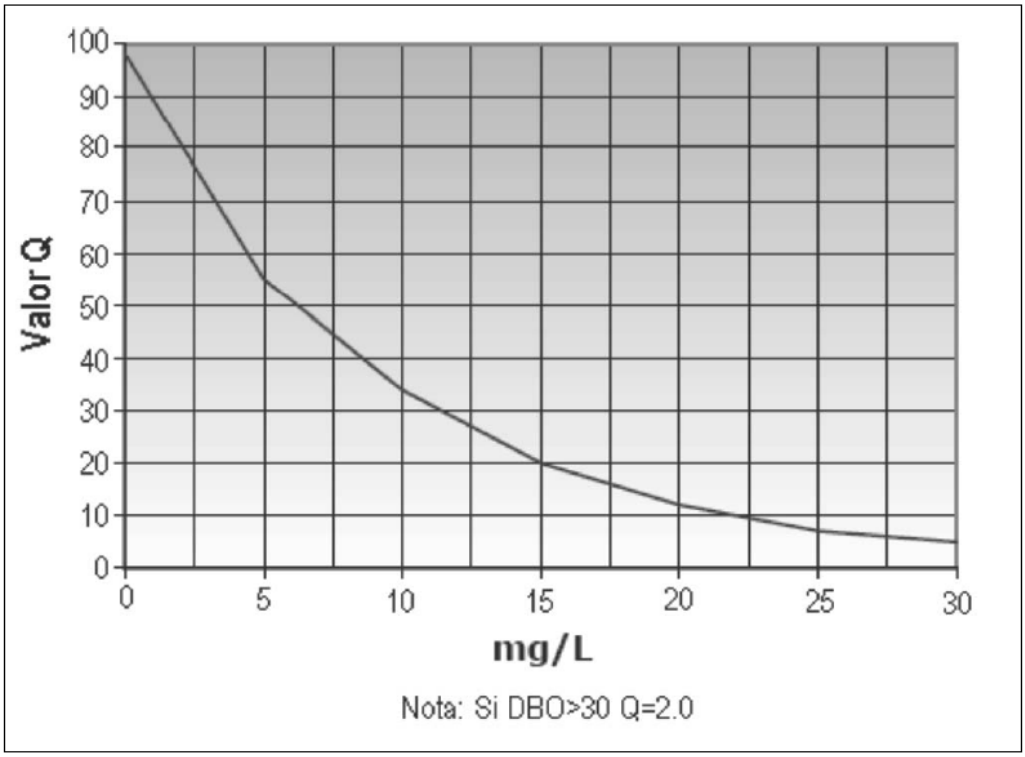


Figura 19. Curva de función de DBO_5

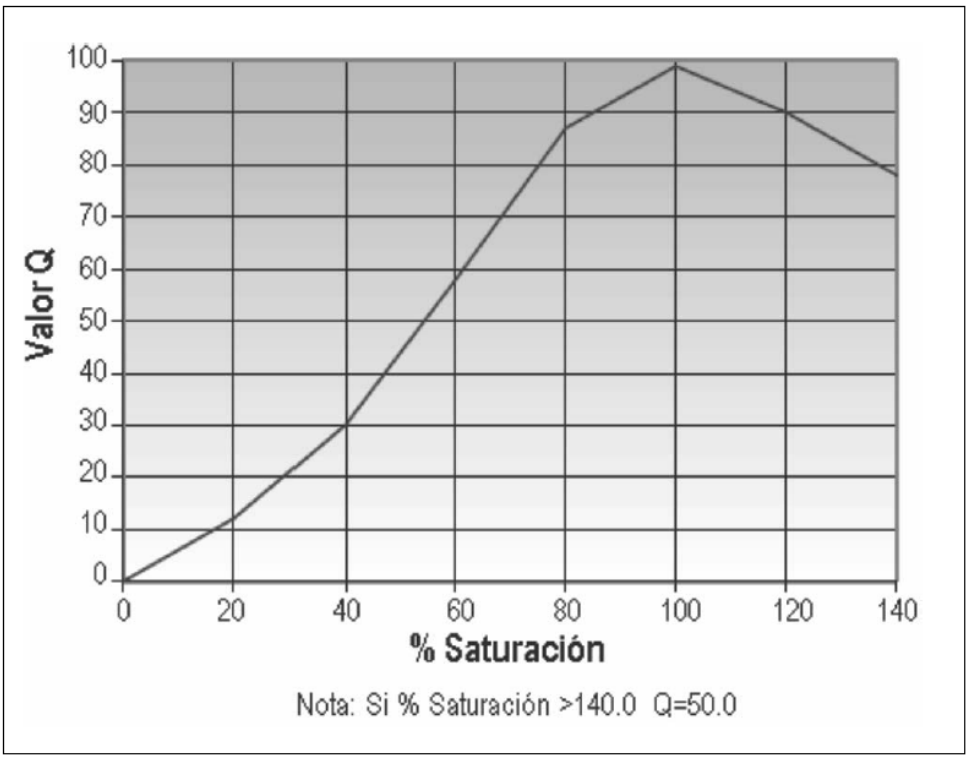


Figura 20. Curva de función de oxígeno disuelto

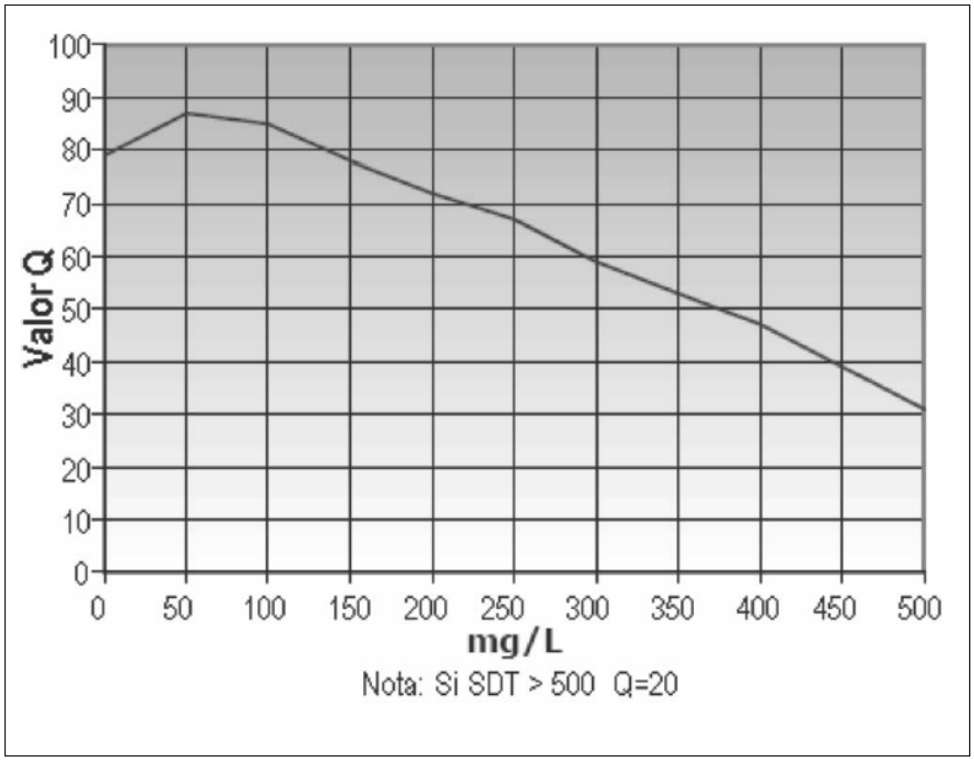


Figura 21. Curva de función de solidos disueltos totales

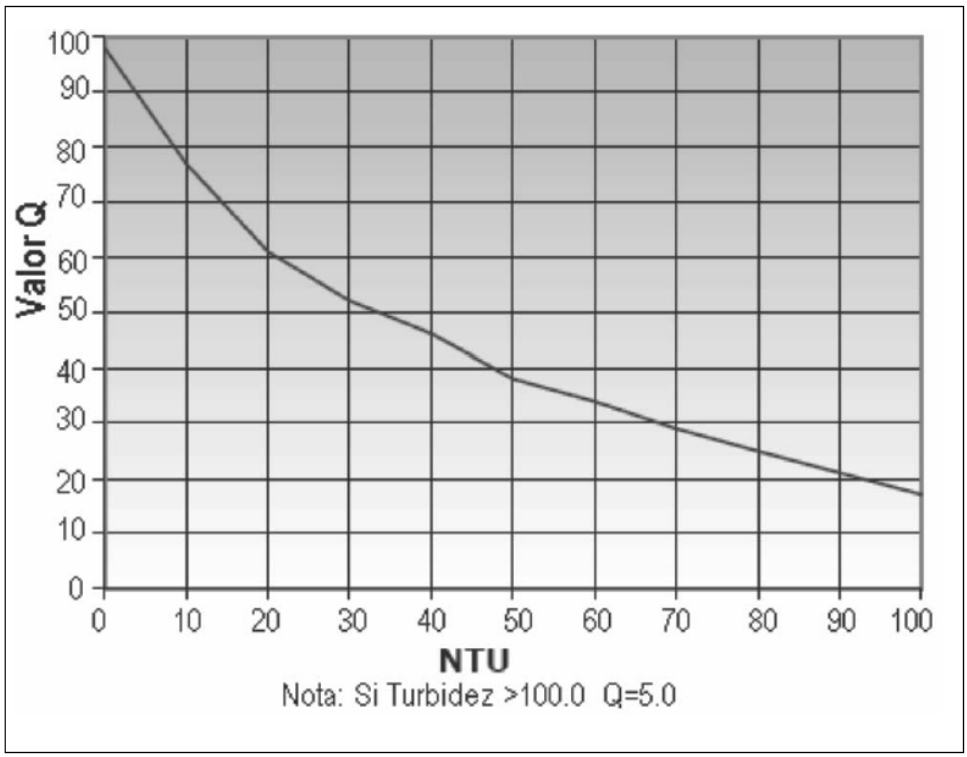


Figura 22. Curva de función de turbiedad

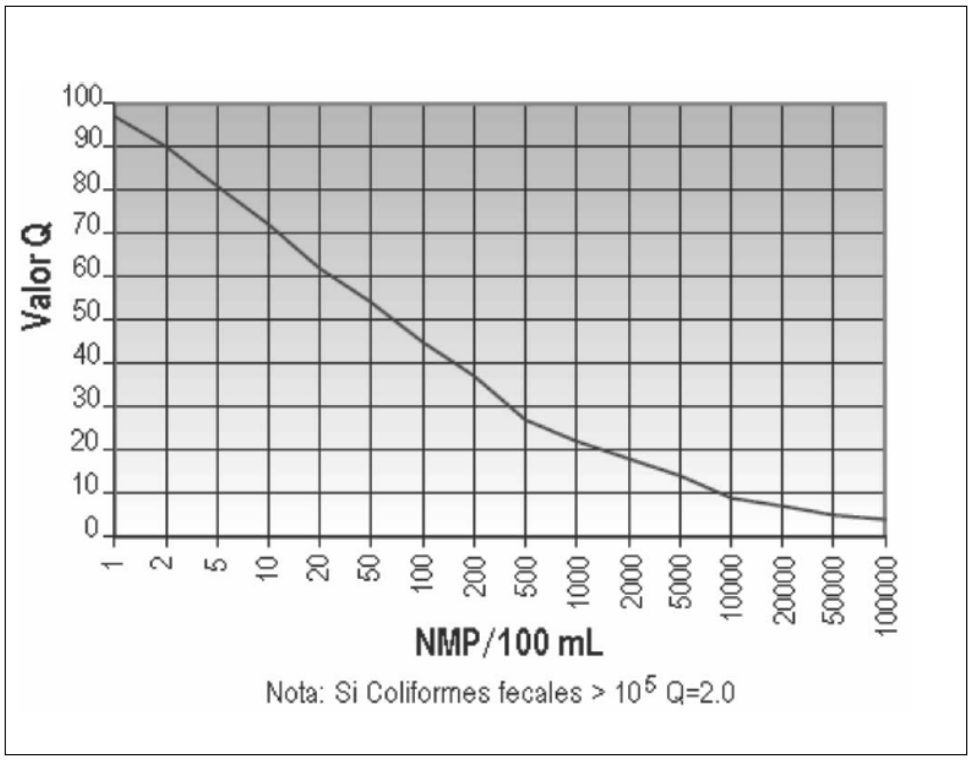


Figura 23. Curva de función de coliformes fecales

Anexo II

Cuadro 8. Media y desviación estándar de los parámetros del Sitio 1.

Parámetros	Unidades	Sitio 1													
		ENE17		MAR17		MAY17		JUL17		SEP17		NOV17		ENE18	
		$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Temperatura	°C	23.80	0.00	26.00	0.00	27.00	0.00	29.00	0.00	24.80	0.00	21.00	0.00	17.50	0.00
pH		7.00	0.06	7.47	0.79	7.18	0.56	7.60	0.44	6.82	0.28	7.10	0.32	7.28	0.13
Nitratos	(mg/L)	0.69	0.23	0.66	0.36	1.02	0.07	0.39	0.12	1.19	0.42	0.50	0.08	0.23	0.12
Fosfatos	(mg/L)	5.59	3.59	3.06	0.33	4.91	0.84	3.29	0.79	3.96	0.15	3.02	0.28	0.74	0.13
DBO_5	(mg/L)	4.28	1.91	4.40	1.91	0.52	0.52	1.33	0.34	1.31	0.25	1.25	0.26	0.67	0.60
OD	(% Sat)	76.00	14.17	67.39	1.13	66.72	1.42	66.57	8.18	132.46	2.49	82.90	15.66	199.91	5.55
SDT	(mg/L)	106.44	7.00	104.56	2.99	118.67	0.72	102.00	0.72	108.22	1.55	84.67	7.13	98.44	0.79
Turbiedad	(FAU)	5.00	2.42	0.56	0.31	5.33	0.54	1.00	0.27	12.56	1.13	1.67	0.72	0.67	0.27
Coliformes	(UFC/100mL)	200.00	22.73	13.33	4.71	805.00	123.56	293.33	30.64	1,321.67	141.21	1,075.00	119.23	25.00	4.08

DBO_5: Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días; OD: Oxígeno disuelto; SDT: Solidos disueltos totales; Coliformes fecales.

Cuadro 9. Media y desviación estándar de los parámetros del Sitio 2.

Parámetros	Unidades	Sitio 2													
		ENE17		MAR17		MAY17		JUL17		SEP17		NOV17		ENE18	
		$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Temperatura	°C	22.50	0.00	24.60	0.00	28.50	0.00	27.00	0.00	24.50	0.00	19.50	0.00	16.00	0.00
pH		7.03	0.10	7.43	0.37	6.71	0.31	7.15	0.37	6.74	0.13	7.19	0.23	7.33	0.10
Nitratos	(mg/L)	0.93	0.09	0.47	0.03	3.04	0.67	0.87	0.17	1.39	0.24	1.17	0.12	0.31	0.16
Fosfatos	(mg/L)	5.59	1.09	6.62	0.87	10.14	1.09	5.62	1.24	4.20	0.60	7.72	0.87	2.25	0.89
DBO_5	(mg/L)	2.01	0.26	2.13	0.26	1.52	0.90	1.33	0.25	1.14	0.08	1.05	0.29	2.30	1.64
OD	(% Sat)	88.70	5.73	64.05	0.99	61.96	1.14	67.21	5.84	132.01	0.60	85.92	13.69	198.71	3.55
SDT	(mg/L)	112.22	0.83	120.33	1.91	119.67	0.98	107.78	0.87	106.44	1.81	80.33	4.58	100.67	2.13
Turbiedad	(FAU)	3.44	1.10	0.33	0.00	51.11	3.25	2.89	0.68	14.56	2.62	10.11	1.37	0.89	0.79
Coliformes	(UFC/100mL)	225.00	119.65	1.67	2.36	2,718.33	132.06	406.67	22.48	1,195.00	146.69	1,406.67	174.18	31.67	14.34

DBO_5: Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días; OD: Oxígeno disuelto; SDT: Solidos disueltos totales; Coliformes fecales.

Cuadro 10. Media y desviación estándar de los parámetros del Sitio 3.

Parámetros	Unidades	Sitio 3													
		ENE17		MAR17		MAY17		JUL17		SEP17		NOV17		ENE18	
		$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Temperatura	°C	20.00	0.00	25.30	0.00	29.50	0.00	26.50	0.00	24.40	0.00	20.50	0.00	17.00	0.00
pH		6.88	0.02	7.17	0.29	6.61	0.18	6.89	0.30	6.56	0.10	7.14	0.17	7.40	0.16
Nitratos	(mg/L)	0.87	0.17	0.53	0.10	1.91	0.43	0.92	0.21	1.48	0.49	1.13	0.17	0.31	0.07
Fosfatos	(mg/L)	4.01	0.28	3.33	1.15	7.71	0.19	5.41	1.15	4.94	0.60	6.91	0.77	2.33	0.93
DBO_5	(mg/L)	3.01	1.16	3.17	1.26	1.98	1.39	1.00	0.08	1.37	0.26	0.95	0.12	3.07	0.49
OD	(% Sat)	81.48	10.64	66.20	1.58	64.30	0.28	66.24	5.79	131.14	0.86	86.82	12.29	200.50	2.79
SDT	(mg/L)	107.11	0.83	114.33	1.44	118.11	0.42	109.22	2.06	104.78	0.57	85.33	4.38	99.11	2.31
Turbiedad	(FAU)	3.00	0.27	0.44	0.63	31.44	2.44	2.00	0.27	18.67	1.70	6.33	0.98	1.11	0.42
Coliformes	(UFC/100mL)	295.00	170.93	6.67	2.36	2,113.33	133.00	370.00	4.08	1,408.33	138.94	920.00	84.95	31.67	8.50

DBO_5: Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días; OD: Oxígeno disuelto; SDT: Solidos disueltos totales; Coliformes fecales.

Anexo III

Cuadro 11. ICA media y desviación estándar por sitio y muestreo

MES	Sitio 1		Sitio 2		Sitio 3	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
ENERO 2017	69.37	0.5	73.39	1.27	70.62	2.21
MARZO 2017	72.57	3.26	76.24	1.51	75.15	1.21
MAYO 2017	66.44	0.31	56.83	1.64	58.23	1.75
JULIO 2017	70.20	2.88	67.27	0.85	66.31	0.94
SEPTIEMBRE 2017	66.59	1.56	66.50	1.15	64.60	0.15
NOVIEMBRE 2017	70.74	3.34	68.69	1.87	69.39	2.06
ENERO 2018	76.65	1.32	70.52	3.11	69.79	0.29