



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE HUATUSCO**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL
RÍO TLACOAPA EN EL MUNICIPIO DE
COSCOMATEPEC, VERACRUZ**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA:

JOSELÍN GONZÁLEZ BAROJAS

DIRECTOR DE TRABAJO RECEPCIONAL

DR. SALVADOR PARTIDA SEDAS

M.C. JULISA GARCÍA ALBORTANTE

HUATUSCO, VER.

DICIEMBRE 2019



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



VERACRUZ
GOBIERNO
DEL ESTADO



SEV
Secretaría
de Educación



DET
Dirección de Educación
Tecnológica del Estado
de Veracruz



Huatusco, Ver., a 3 de Diciembre 2019

C. Joselín González Barojas
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE.

En relación a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación que después de haber sido analizado exhaustivamente el (la) **OPCIÓN 1 (TESIS)** titulada:

**“Evaluación de la calidad del agua del Río Tlacoapa en el municipio de Coscomatepec,
Veracruz”**

Se le notifica que a mi juicio este cumple con los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes de la **OPCIÓN 1 (TESIS)**, por lo que se autoriza su impresión.

ATENTAMENTE.

M.M. VÍCTOR MANUEL ARCOS FERIA
DIRECTOR DEL ITSH.



INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE HUATUSCO
CLAVE 30EIT0013Z
DIRECCION GENERAL



Av. 25 Poniente Num. 100 Col. Reserva Territorial
Huatusco, Veracruz, México. C.P. 94100
(01 273-73-4-40-00), e-mail: tec_huatusco@hotmail.com
www.itshuatusco.edu.mx





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



VERACRUZ
GOBIERNO
DEL ESTADO



SEV
Secretaría
de Educación



DET
División de Estudios
Tecnológicos del Estado
de Veracruz



Huatusco, Ver., 3 de Diciembre 2019.
Asunto: Liberación del Informe final

ING. CARINA ACOSTA SÁNCHEZ
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E.

Por este medio les informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral.

Nombre de la egresada	C. JOSELIN GONZALEZ BAROJAS
Carrera:	INGENIERIA AMBIENTAL
No. de Control:	143Z064
Nombre del Proyecto:	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TLACOAPA EN EL MUNICIPIO DE COSCOMATEPEC, VERACRUZ
Producto:	TESIS (OPCION I)

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta actividad para la formación profesional de nuestros(as) egresados(as).

ATENTAMENTE

M.C. ADRIÁN JUÁREZ LÓPEZ

JEFE DE CARRERA DE ING. AMBIENTAL

 DR. SALVADOR PARTIDA SEDAS Nombre y Firma del Asesor (a)	 DR. ADÁN CABAL PRIETO Nombre y Firma del Revisor(a)	 M.C. JULISA GARCÍA ALBORTANTE Nombre y Firma del Revisor(a)
--	--	---

C.C.P.- División de Carrera de Ingeniería Ambiental- para su conocimiento.
Archivo..



Av. 25 Poniente Num. 100 Col. Reserva Territorial
Huatusco, Veracruz, México. C.P. 94100

Tel. (01 273-73-4-40-00), e-mail: tec_huatusco@hotmail.com

www.itshuatusco.edu.mx



AGRADECIMIENTOS

A mis directores de tesis M.C. Julisa García Albortante y el Dr. Salvador Partida Sedas, por el apoyo brindado, su disposición, comprensión y paciencia durante la realización de esta investigación.

Al Instituto Tecnológico Superior de Huatusco (ITSH) por las enseñanzas de la carrera de Ing. Ambiental.

A la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco por la oportunidad de realizar mi proyecto de investigación, Al Área de Química y Fisicoquímica Ambiental del Departamento de Ciencias Básicas de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM-Azcapotzalco, en especial a la Dra. Icela Dagmar Barceló Quintal, al Dr. Hugo Solís, a todo el personal de ese departamento, sin su colaboración y apoyo no hubiera sido posible la terminación de este trabajo.

A todos mis profesores de la carrera, por sus invaluable conocimientos, por su apoyo y amistad incondicional.

DEDICATORIA

A mis padres que son el pilar de mi formación, por su gran apoyo en todos los sentidos y en todo momento que lo necesité, por su cariño, paciencia y amor, por creer en mí siempre y motivarme cada día para concluir de manera satisfactoria mis estudios, ya que gracias a ellos soy lo que soy.

A mis hermanas y hermano por su apoyo, por sus buenos consejos y sus ánimos en todo momento que lo necesité para no perder la calma y seguir adelante hasta el final.

A la M.C Julisa García Albortante por su valioso tiempo y espacio, por ser una maestra en toda la extensión de la palabra, por apoyarme académica y personalmente, darme cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda que me surgiera, por sus conocimientos y sus consejos, por su paciencia y creer en mí para llevar a cabo ésta tesis.

A la familia Garfias García por abrirme las puertas de su casa y confiar en mí, por hacerme sentir como en mi casa y uno más de su familia a lo largo de éste tiempo que duro el proyecto de tesis.

A mis amigos que me ayudaron y me animaron siempre para hacer esto posible estando lejos de mi tierra y que aún siguen conmigo en las buenas y en las malas.

A toda la gente tan maravillosa que conocí a lo largo de mi estancia en la UAM.

Con mucho aprecio, respeto, cariño y admiración le dedico ésta tesis a cada uno de ustedes que fueron parte de este proyecto final.

RESUMEN.

El presente estudio se realizó en el Río Tlacoapa, municipio de Coscomatepec, ubicado en la zona montañosa y central del estado de Veracruz, México. Se evaluó la calidad del agua de Río Tlacoapa para consumo humano y/o riego agrícola, durante dos periodos (septiembre y noviembre de 2018). Se establecieron cuatro sitios de muestreo mediante el programa arcMap, en donde se determinaron parámetros fisicoquímicos: temperatura (C°), potencial de hidrogeno (pH), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica, alcalinidad (CaCO₃ mg/l), dureza temporal, dureza carbonatada (CaCO₃ mg/l), nitritos (NO₂), nitratos (NO₃), fosfatos (PO₄), sulfatos (SO₄) y metales totales (Pb, Cr, Ni, K, Mg, Mn, Na, Ca). Se realizó el análisis por triplicado en las muestras recolectadas de agua de la zona de estudio para los parámetros que se mencionaron, así como el cálculo de los índices de calidad empleando el modelo NFS (National Sanitation Fundantion) que permitió conocer detalladamente el estado del cuerpo acuático de la región. A través de los resultados se determinó que la concentración de los metales totales no sobrepasan los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-1994, cabe mencionar que el Fe comparado con el criterio ecológico de la calidad del agua (CE-CCA-001/89) si rebasa el limite permisible para consumo humano. Mientras que el Cr, Pb, y Ni se encontraron con concentraciones cercanas a los límites de detección en la técnica de flama, por lo que se recomienda realizar su determinación en horno de grafito. Finalmente se concluye que el agua de la sección analizada del cuerpo en estudio se encuentra en condiciones aptas para las diversas actividades de la región.

ABSTRACT

The present study was carried out in the Tlacoapa River, municipality of Coscomatepec, located in the mountainous and central area of the state of Veracruz, Mexico. The water quality of Río Tlacoapa was evaluated for human consumption and / or agricultural irrigation, during two periods (September and November 2018). Four sampling sites were established using the arcMap program, where the physicochemical parameters were determined: temperature (C°), hydrogen potential (pH), dissolved oxygen (OD), electrical conductivity, alkalinity (CaCO₃ mg / l), hardness Temporary, carbonate hardness (CaCO₃ mg / l), nitrites (NO₂), nitrates (NO₃), phosphates (PO₄), sulfates (SO₄) and total metals (Pb, Cr, Ni, K, Mg, Mn, Na, Ca) . The triplicate analysis was performed on the collected water samples of the study area for the parameters detailed, as well as the calculation of the quality indices using the NFS (National Sanitation Foundation) model that is known to know the state of the aquatic body of the region. Through the results it was determined that the concentration of total metals does not exceed the permissible limits of NOM-127-SSA1-1994, it should be noted that the Faith compared with the ecological criterion of water quality (CE-CCA-001/89) if it exceeds the permissible limit for human consumption. While the Cr, Pb, and Ni were found with the changes detected to the detection limits in the flame technique, so it is recommended to make their determination in the graphite furnace. Finally, it is concluded that the water of the analyzed section of the body under study is in suitable conditions for the various activities in the region.

.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA	II
RESUMEN.	III
ABSTRACT.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
CAPÍTULO 1	2
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO 2	5
ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	5
2.1. Calidad del Agua.....	5
2.2. Los ríos de Veracruz y su grado de contaminación	7
2.3. Ubicación del río de Tlacoapa, municipio de Coscomatepec, Ver.	9
JUSTIFICACIÓN.....	13
OBJETIVOS.....	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos	14
CAPÍTULO 3	16
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	16
3.1. Agua.....	16
3.2. Calidad del agua	16
3.3. Aguas residuales.....	18
3.4. Contaminación ambiental generada por tenerías.....	19
3.4.1. Descripción de los principales procesos de curtación	20
3.4.1.2. Etapa de pretratamiento y almacenamiento.....	20
3.4.1.3. Etapa de ribera.....	21
3.4.1.4. Etapa de Curtido	21

3.4.1.5. Etapa de acabado	22
3.5. Parámetros físicoquímicos empleados para la determinación de la calidad del agua	22
3.5.1. pH	22
3.5.2. Temperatura	23
3.5.3. Conductividad	23
3.5.4. Oxígeno disuelto	24
3.5.5. Dureza y alcalinidad	25
3.5.6. Nitritos y Nitratos	30
3.5.7. Fosfatos	31
3.5.8. Sulfatos	32
3.5.9 Calcio	33
3.5.10. Magnesio	33
3.5.11. Hierro	34
3.5.12. Manganeseo	34
3.5.13. Sodio	34
3.5.14. Potasio	35
3.5.15 Cromo	35
3.5.16. Plomo	35
3.6. índices de calidad del agua	36
CAPÍTULO 4	38
METODOLOGÍA	38
4.1. Metodología del muestreo del Río Tlacoapa	38
4.1.1. Conservación de las muestras	38
4.2. Muestreo de aguas en el Río Tlacoapa en el municipio de Coscomatepec, en el estado de Veracruz	41
4.2.1. Pruebas de campo en el Río Tlacoapa en el municipio de Coscomatepec, Ver.	43
4.3. Análisis químicos a las muestras provenientes del Río Tlacoapa.	46
4.3.1. Determinación de dureza	46

4.3.2. Determinación de alcalinidad.....	46
4.3.3. Determinación de iones	47
4.3.1.1. Determinación de Nitratos mediante espectrofotometría ultravioleta.....	48
4.3.1.2. Determinación de Fósforo soluble. Método azul de molibdato...	49
4.3.1.3. Determinación de Nitritos por el método colorimétrico	51
4.3.1.4. Determinación de sulfatos por turbidimetría.....	52
4.3.4. Determinación de metales totales.....	53
4.3.4.1. Tratamiento de las muestras para el análisis de los metales totales (Digestión ácida por microondas).	54
4.3.5. Espectrofotómetro de Absorción Atómica.....	55
4.4. Determinación de índices de calidad	57
CAPÍTULO 5	59
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59
5.1. Parámetros Físicos	59
5.2. Parámetros químicos	66
5.3. Metales Totales.....	76
5.4 índices de calidad	82
CAPÍTULO 6	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
6.1. Conclusiones.....	84
6.2 Recomendaciones.....	84
BIBLIOGRAFÍA	87
APÉNDICE.....	94

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3.....	16
Tabla 3.1. Inventario del agua	17
Tabla 3.2. Diferentes tipos de agua dependiendo del contenido.....	18
Tabla 3.3. Productos industriales empleados y los contaminantes derivados...	19
Tabla 3.4. Cationes y aniones asociados causantes de la dureza.....	26
Tabla 3.5. Relación porcentual de las formas iónicas del sistema carbonato....	29
 CAPÍTULO 4.....	 38
Tabla 4.1. Recomendaciones de la EPA para conservación y envasado.....	40
Tabla 4.2. Coordenadas y características de los 4 puntos de muestreo.....	43
Tabla 4.3. Programa de digestión para muestras de agua del río Tlacoapa.....	54

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2.....	5
Figura 2.1: Municipio de Coscomatepec, Ver.....	10
Figura 2.2: Agricultura en el municipio de Coscomatepec, Ver.....	11
Figura 2.3: Curtidurías en el municipio de Coscomatepec, Ver.....	11
 CAPÍTULO 3.....	 16
Figura 3.1: Ciclo del nitrógeno.....	31
 CAPÍTULO 4.....	 38
Figura 4.1: Red Hidrográfica en el municipio de Coscomatepec, Ver.....	41
Figura 4.2: Zonas de muestreo en el Río Tlacoapa ubicado en el Municipio.....	42
Figura 4.3: Determinación de parámetros In situ.....	44
Figura 4.4: Equipo Corning	44
Figura 4.5: Disco Secchi.....	45
Figura 4.6: Conservación, y almacenamiento de muestras.....	45
Figura 4.7: Determinación de alcalinidad de los sitios de muestreo del Río T...	47
Figura 4.8: Equipo de espectrofotómetro UV Shimadzu, modelo UV-160.....	48
Figura 4.9: Estándares de Fosfatos.....	50
Figura 4.10: Presencia de Nitritos en el agua del Río Tlacoapa.....	51
Figura 4.11: Espectrofotómetro Hach.....	52
Figura 4.12: Horno de microondas (CEM-MARS 5).....	53
Figura 4.13: Sensores de Presión y Temperatura para controlar el método	55
Figura 4.14: Espectrofotometría de absorción Atómica equipo Thermo.....	56
 CAPÍTULO 5.....	 59
Figura 5.1: Temperatura en los muestreos.....	60
Figura 5.2: Potencial de hidrogeno (pH) en los muestreos.....	62
Figura 5.3: Oxígeno disuelto en los muestreos.....	64

Figura 5.4: Conductividad eléctrica en los muestreos.....	66
Figura 5.5: Dureza no carbonatada en los muestreos.....	67
Figura 5.6: Dureza total en los muestreos.....	68
Figura 5.7: Alcalinidad en los muestreos.....	70
Figura 5.8: Nitritos en los muestreos.....	71
Figura 5.9: Nitratos en los muestreos.....	73
Figura 5.10: Sulfatos en los muestreos.....	74
Figura 5.11: Fosfatos en los muestreos.....	75
Figura 5.12: Concentraciones de manganeso (Mn) y hierro (Fe).....	77
Figura 5.13: Concentraciones de potasio (K) en los muestreos.....	78
Figura 5.14: Concentraciones de magnesio (Mg) y sodio (Na).....	80
Figura 5.15: Concentraciones de calcio (Ca) en los muestreos.....	81

CAPÍTULO 1

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

El agua es un compuesto químico natural importante para la supervivencia de la vida en la tierra. El bienestar de los seres humanos, los ecosistemas y el medio ambiente dependen de este líquido vital que sufre deterioro en su calidad, debido a procesos naturales o antropogénicos, donde estos últimos han incrementado, debido a la mala planeación del uso de suelos en cuencas hidrográficas, sobreexplotación de acuíferos, crecimiento demográfico, actividades agrícolas, ganaderas, industriales, turísticas con tratamiento incompleto de aguas residuales.

El estado de Veracruz se caracteriza por disponer de una gran cantidad de recursos hídricos en comparación con otras entidades de la república. Su precipitación anual es casi el doble de la media nacional, y por su territorio fluye un tercio del escurrimiento total del país (CONABIO, 2011). Por sus riquezas naturales e hídricas, la población de Veracruz se asienta en más de 22 mil localidades distribuidas en 212 municipios, estos rasgos representan un reto para el sector hídrico en lo que se refiere a dotación y mantenimiento de servicios de calidad de agua potable, drenaje, alcantarillado y saneamiento.

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 (CONABIO, 2011). Sin duda, uno de los principales problemas en Veracruz es la calidad del agua, el porcentaje de saneamiento de sus aguas residuales municipales es muy bajo, ya que, de 88 plantas de tratamiento

establecidas en todo el estado, únicamente el 28 % se encuentra en operación, por lo que la cobertura de saneamiento es sólo del 11.4 % (Dominguez, 2008)

Además, la calidad del agua también se ve afectada por diversos factores tales actividades antrópicas (descargas de desechos municipales e industriales) en combinación con procesos naturales de degradación (erosión del suelo) (Zeng y Rasmussen 2005).

El Río Tlacoapa es uno de los principales ríos del municipio de Coscomatepec, donde diversas comunidades establecidas en sus márgenes consumen agua y la utilizan para el riego de diversas hortalizas. En un análisis derivado del plan municipal de desarrollo 2018, se reporta que existen descargas de aguas residuales y municipales en los cuerpos de agua de este municipio y actualmente no se cuenta con datos geográficos de los puntos de descarga, debido a lo anterior, en este trabajo surge la necesidad de evaluar la calidad del agua del Río Tlacoapa para generar información significativa que permita evaluar su calidad y determinar si existe un riesgo para la población.

CAPÍTULO 2

Capítulo 2

ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Calidad del Agua

El agua es el principal compuesto que existe en la naturaleza, es el soporte de la vida. Desde el punto de vista ecológico, el agua y la radiación solar son los principales factores que dan origen a las cadenas tróficas a partir de la fotosíntesis (Flores, 1997).

La secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) menciona que en el planeta existen alrededor de 1,400 millones de km³ de los cuales 2.5 % corresponden a agua dulce, localizada principalmente en ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuífero (Houbron, 2010). Tres cuartas partes del agua están contenida en los glaciares y mantos de hielo, de los cuales aproximadamente 97 % son prácticamente inaccesibles, pues se encuentran en la Antártica, el Ártico y Groenlandia. No obstante, muchos de los glaciares continentales, así como el hielo y las nieves perpetuas de volcanes y cadenas montañosas constituyen una fuente importante de recursos hídricos para muchos países. Las aguas superficiales (lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) retienen menos del uno por ciento del agua dulce, la cual es utilizada para las diversas actividades de los seres humanos, debido al incremento de población y a las diversas actividades antropogénicas, la composición de este líquido vital ha tenido un deterioro en su calidad.

La calidad del agua depende esencialmente de su composición, del tipo de agua y de su uso. Técnicamente sería muy difícil analizar todos los compuestos de un agua

residual, por lo cual se requieren parámetros generales capaces de dar información sobre la cantidad y tipo de contaminación (Houbron, 2010).

La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal. Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del este recurso (Orozco *et al.*, 2005).

Betancourt *et al.*, (2011) determinaron la calidad del agua superficial de la bahía Málaga, Colombia, basados en los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, nutrientes y tóxicos orgánicos. Concluyendo que no existe contaminación y que sea manejada como un área marina protegida.

Ontiveros *et al.*, (2013) realizaron una evaluación de las aguas residuales de la ciudad de México, debido a que son utilizadas para regar diferentes plantíos en el valle de Mezquital. Utilizaron diferentes parámetros (conductividad eléctrica (μs), sólidos totales disueltos, turbidez (UTM), iones bicarbonato y sodio). Reportando que estos parámetros no cumplen con las normas mexicanas vigentes.

Can *et al.*, (2014) determinaron la calidad del agua para riego en la Sierra Norte de Puebla, México.; utilizando la composición química de algunos metales y no metales y las concentraciones totales electrolíticas, así como la relación de absorción de sodio. Los resultados denotan que agua superficial es apta para el riego en las diferentes localidades, no presentando riesgo alguno.

Quintana *et al.*, (2015) realizaron una evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Bustillos en el estado de Chihuahua, México, empleado diversos parámetros

fisicoquímicos (temperatura (°C), turbiedad (UTM), pH, alcalinidad (mg/l de CaCO₃) Al, Cd, Cr, Fe, Ni). Concluyendo que la laguna de Bustillos presenta concentraciones de alcalinidad, aluminio e hierro por encima de los límites permisibles de los criterios ecológicos de la calidad del agua y las normas mexicanas.

Almazán *et al.*, (2016) determinaron la calidad y clasificación de usos del agua en la cuenca baja del río Papagayo, Guerrero, México, determinando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (pH, conductividad eléctrica (μs), oxígeno disuelto (mg/l) temperatura (°C), salinidad (%), turbiedad (UTM), dureza permanente (mg/l CaCO₃), alcalinidad (mg/l de CaCO₃), Fe, Mn, Cd, Pb, Zn y coliformes fecales. Concluyendo que existe contaminación por materia fecal, por ello no es apta para consumo humano.

2.2. Los ríos de Veracruz y su grado de contaminación

Veracruz es un estado rico en recursos naturales, abundante agua y una gran extensión territorial. Sus recursos hídricos están conformados por cientos de redes de ríos perennes, intermitentes y arroyos. se ha estimado que por el estado pasa aproximadamente el 30 % del escurrimiento total nacional, destacando, por la magnitud de sus aportaciones, las regiones de Coatzacoalcos y Papaloapan con casi el 14 % y 13 %, respectivamente (CONABIO, 2011). Los estudios existentes en materia de calidad de agua, revelan que los 14 ríos más importantes del estado de Veracruz registran niveles significativos de contaminación lo que compromete la disponibilidad del recurso hídrico para sus diferentes usos. La alta contaminación de los ríos se debe principalmente a las descargas industriales de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento deficiente; éste tipo de descargas constituyen el 68 % del volumen descargado a ríos y cauces; además de que aporta el 76 % de la carga contaminante medida en términos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Por su parte las descargas de origen municipal y del sector de servicios

participan con el 32 % del volumen descargado y el 24 % de la carga contaminante (Domingues , 2008).

Entre las industrias que más contribuyen en la entidad se encuentran las de café, azucareras, alcoholeras, papeleras, industrias petroquímicas y químicas industrias textil, cervecera, embotelladora, y de tenerías, (Houbrom, 2010; CONABIO, 2011). Investigaciones recientes muestran el deterioro de la calidad del agua en diferentes ríos del estado de Veracruz, los cuales son enunciados a continuación.

Houbrom, (2010), determinó la calidad del agua de los ríos veracruzanos considerando los análisis de: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5) y sólidos, donde la cuenca del río Blanco se considera la más deteriorada de Veracruz y una de las cinco con mayor contaminación en el país. Entre las fuentes de contaminación que contribuyen a la mala calidad de la cuenca del río Blanco destacan: descargas urbanas de Orizaba, Río Blanco, Nogales, Ciudad Mendoza, Huiloapan, Ixtaczoquitlán, así como descargas de alrededor de treinta empresas de las industrias papelera, textil, cervecera, embotelladora, y de tenerías, entre otras.

Mancilla et al., (2012) determinaron metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, determinando parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica (CE), As y metales pesados totales: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn). Determinaron que los parámetros fisicoquímicos no representan riesgos para riego agrícola y las concentraciones de metales pesados en los ríos, embalses y manantiales de Puebla y Veracruz está por debajo de los límites máximos permisibles por la NOM-001-ECOL-1996.

Torres et al., (2013) analizaron el enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad del río Seco, Veracruz, México, determinando parámetros como la demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT), nitratos y nitritos, y coliformes fecales. Concluyeron que este río se

encuentra fuertemente contaminado por materia orgánica, nitrógeno y materia fecal, lo que limita sus usos.

Vidríales y Fuentes, (2016) determinaron la calidad de agua de la cuenca de Pixquiac, Veracruz, con los siguientes parámetros fisicoquímicos temperatura (°C), pH, dureza (mg/l de CaCO₃), alcalinidad (mg/l de CaCO₃), turbidez (UTM) y oxígeno disuelto. Así también como el análisis bacteriológico (*Escherichia coli*), reportando que el agua de la cuenca Pixquiac no presenta contaminación y es considerada agua de buena calidad para consumo humano.

2.3. Ubicación del río de Tlacoapa, municipio de Coscomatepec, Ver.

El municipio de Coscomatepec, se ubica entre los paralelos 18°59' y 19°08' de latitud norte; los meridianos 97°00' y 97°12' de longitud oeste; con una altitud entre 1,300 y 3,300 m (figura 2.1). Limita al norte con los municipios de Alpatlahuac y Calcahualco; al este con los municipios de Huatusco, Ixhuatán del Café y Tomatlán; al sur con los municipios de La Perla y Chocamán, al oeste con Calcahualco y La Perla. Su distancia aproximada por carretera a la capital del estado es de 50 Km.

El municipio por estar ubicado en la zona montañosa y central del estado de Veracruz sobre las estribaciones nororientales del Pico de Orizaba o Citlaltepetl es abastecido por importantes ríos, pertenecientes a las cuencas del centro del estado de Veracruz que integran la región hidrológica del Papaloapan. Sus corrientes de agua son principalmente perennes, aunque también cuenta con afluentes intermitentes. Coscomatepec posee un clima templado-húmedo-regular con una temperatura promedio de 19.6 °C; su precipitación pluvial media anual es de 2,069.2 mm. Los suelos de esta región están compuestos principalmente por andosol (89 %), es decir, suelo negro de formaciones volcánicas, el cual resiste cultivos intensivos, pero con limitaciones por su elevada capacidad de fijación de fosfatos,

también se compone de luvisol, aunque en menor proporción (9%). Además, en la región existe vegetación de bosques y pastizales, aunque predominan los primeros en la región (plan municipal de desarrollo, 2018).

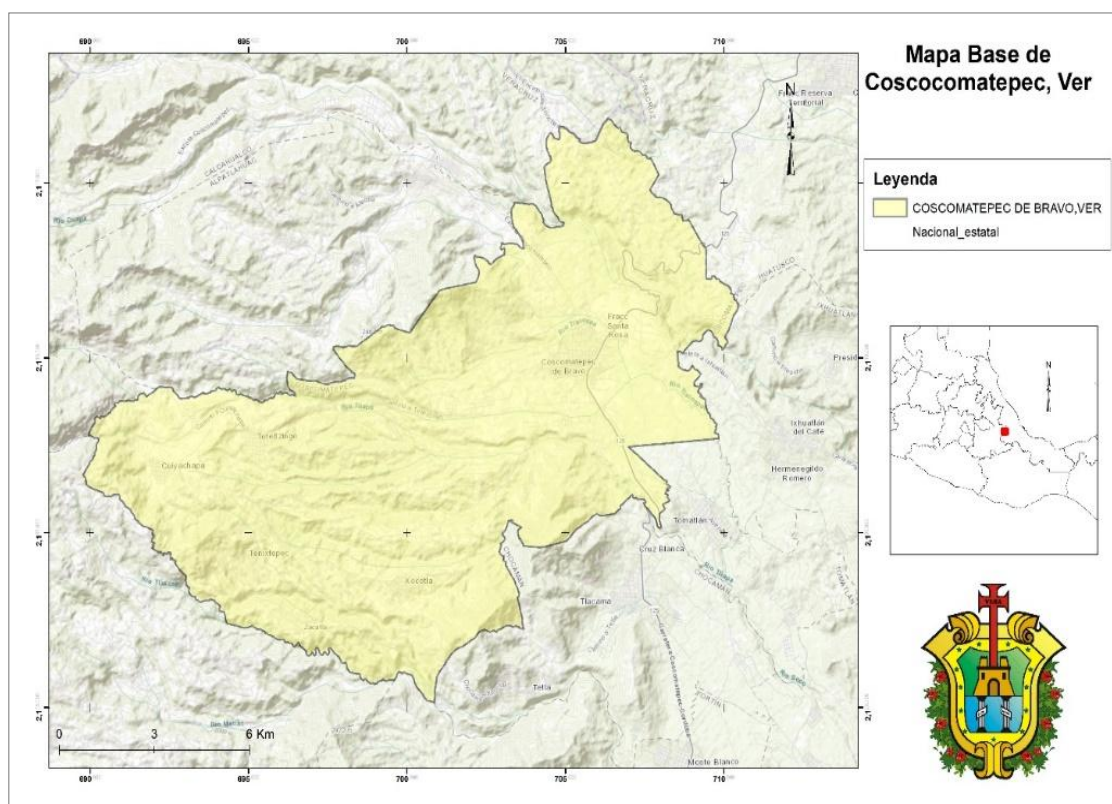


Figura 2.1: Municipio de Coscomatepec, Ver. (Fuente: elaboración propia).

La principal actividad económica de este municipio es la agricultura (figura 2.2), puesto que, del total de unidades de producción con actividad agropecuaria o forestal, el 96 % se dedican a esta rama; se siembra maíz, frijol, chayote, aguacate chinene, haba, flor de calabaza, tomate verde, jitomate, moras y zarzamoras. El 4 % restante se encuentra dividido entre: la cría y explotación de animales (1.8 %), tala de árboles (0.2 %) y actividades diversas (2 %).



Figura 2.2: Agricultura en el municipio de Coscomatepec, Ver

Como segunda actividad económica del municipio se encuentra la microindustria de curtido de piel (figura 2.3), la cual elabora una gran cantidad de productos artesanales tales como llaveros, carteras, bolsas, cinturones, sillas de montar, accesorios para la charrería, los cuales son exportados a otros estados de la república, principalmente Tabasco y Campeche.



Figura 2.3: Curtiduría en el municipio de Coscomatepec, Ver.

A pesar de la importancia de esta actividad económica, esta industria genera y deposita en sus aguas residuales, diferentes sustancias químicas durante las 4 etapas de curtido de la piel, las cuales, de acuerdo al plan municipal de desarrollo 2018 – 2021 del municipio, existen diferentes cuerpos de agua que no cuentan con protección ambiental en términos de las descargas depositadas en su lecho ya que diferentes sustancias residuales que afectan la calidad de estos acuíferos.

Es de vital importancia conocer la calidad del agua del río Tlacoapa, no solo para generar información actual y significativa, sino para que dicha información sea tomada como base para una mejor gestión hídrica, así como también para el diseño de un proceso de tratamiento de aguas residuales adecuado a sus necesidades.

JUSTIFICACIÓN

La calidad del agua superficial es un asunto de gran preocupación en la actualidad, debido a que los ríos son los receptores, directos o indirectos, de los desechos que el hombre ha generado debido a diversas actividades antropogénicas, por lo que se encuentran entre los cuerpos de agua más vulnerables a la contaminación.

A nivel mundial el énfasis en el control de vertimientos y evaluación de la calidad del agua, sea ha dado principalmente a diferentes sustancias como hidrocarburos, desperdicios industriales, metales pesados, plaguicidas, productos químicos domésticos y desechos radioactivos, donde la disposición final de estos residuos es un tema de interés debido a que la mayoría de veces en las diversas industrias no se cuenta con el seguimiento que vigile el destino final de estas sustancias.

Como se describió anteriormente en el municipio de Coscomatepec, Ver., se tienen diversas actividades que coadyuvan en la economía del poblado donde la industria de la curtiembre es de interés para esta investigación, debido a que el 80 % de las industrias dedicadas a esta actividad está basado en el uso de grandes cantidades de agua, diversos reactivos químicos entre los que destacan las sales de cromo.

Debido a lo anterior, surge la necesidad de evaluar la calidad del agua en diferentes puntos del Río Tlacoapa sobre el cual se encuentran ubicadas microindustrias de curtiembre, lo anterior permitirá determinar si existe un riesgo de contaminación para las comunidades aledañas que utilizan esta agua para consumo humano, así como para riego de diversas hortalizas y alimentación de ganado.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la calidad de agua en cuatro sitios del Río Tlacoapa, Municipio de Coscomatepec, Ver.

Objetivos específicos

- Delimitar el río Tlacoapa y elaborar un mapa geo referenciando los sitios de muestreo con el programa arcMap.
- Evaluar el comportamiento de parámetros fisicoquímicos del agua del Río Tlacoapa durante los meses de septiembre y noviembre.
- Determinar concentraciones de metales totales de Cr, Pb, Ni, P, K, Mg, Mn, Ca que puedan presentar un riesgo para la biota y fauna el lugar, considerando la norma oficial mexicana (NOM-127-SSA1-1994) y los criterios ecológicos de la calidad del agua (CC-CCA-001/89)
- Calcular los índices de calidad del agua utilizando el modelo NFS (National Sanitation Fundation)

CAPÍTULO 3

Capítulo 3

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1. Agua

El agua es un compuesto fundamental, fuente de toda vida, forma parte de los tejidos animales y vegetales, siendo necesaria como vehículo fundamental para el proceso de diversas funciones en la biota y fauna de los diversos ecosistemas.

El agua está formada por dos átomos de hidrogeno unidos en forma covalente con un átomo de oxígeno. Se encuentra en la naturaleza en diversas formas y características y cada una de ellas tiene su función dentro del planeta mediante un proceso natural llamado ciclo hidrológico. Es uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza y cubre alrededor del 71 % de la superficie del globo terrestre y 0.15 % del volumen total del planeta. Pero, aunque hay mucha agua en el planeta, algunos factores limitan su disponibilidad para uso humano debido a que solo el 2.75 % de este líquido vital corresponde a agua dulce, con niveles bajos de sales disueltas, sin embargo, de este porcentaje, el agua dulce continental representa menos de 1 % del volumen total y la mayoría está en depósitos subterráneos (tabla 3.1) y en aguas superficiales tales como ríos, lagos y tierras pantanosas (Pérez , 2004).

3.2. Calidad del agua

El término calidad del agua es un término usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua. La calidad depende principalmente del uso

que se le va a dar, siendo esta modificada principalmente por el impacto humano en los diversos sistemas acuíferos

Tabla 3.1. Inventario del agua (Perez, 2004)

Inventario de agua en la superficie ¹ terrestre		
Almacén	Volumen (10 ⁶ km ³)	Porcentaje del Total
Océanos	1370	97.25
Casquetes polares y glaciares	29	2.05
Agua Subterránea profunda (750 a 4000 m)	5.3	0.38
Agua subterránea poco profunda (<750)	4.2	0.30
Lagos	0.125	0.01
Humedad del suelo	0.065	0.005
Atmósfera ²	0.013	0.001
Ríos	0.0017	0.0001
Biosfera	0.0006	0.00004
Total	1408.7	100

1 Considerando la superficie hasta 4000 m bajo nivel del suelo

2 como equivalente líquido del vapor de agua existente en la atmosfera.

Entre las principales causas de este deterioro en la calidad del agua podemos mencionar: bacterias y microorganismos en suministros de agua potable causando enfermedades, contaminantes químicos en lagos, presas, ríos y mares que dañan la vida vegetal y animal, derramamiento de drenaje y el uso de diversos plaguicidas fungicidas en la agricultura.

En algunos países se ha definido la calidad del agua en función de las concentraciones de algunas sustancias químicas y biológicas, donde se puede realizar una clasificación del agua dependiendo del contenido de diversos compuestos químicos (tabla 3.2).

Tabla 3.2. Diferentes tipos de agua dependiendo del contenido de algunos compuestos (González, 1997).

Tipo de agua	Características
Ácidas o agresivas	Alto contenido de CO ₂
Dulces	Bajo contenido de sales
Duras	Alto contenido de Calcio y Magnesio
Ferruginosas	Alto contenido de Hierro
Minerales o Terapéuticas	Alto contenido de azufre, potasio, etc.
Potable	Según norma

En la mayoría de los países, incluyendo México, se consideran como base de los parámetros de calidad del agua al pH o acidez, temperatura, olor, sabor, nitratos, fosfatos y materia en suspensión. Otros parámetros que se pueden incluir son: indicadores biológicos, sustancias tóxicas y parámetros llamados globales, los cuales no nos indican el contenido de una sustancia en especial, sino el contenido de un conjunto de sustancias con características similares, por ejemplo, la DBO y la DQO que indican la cantidad de materia biodegradable y la cantidad total de materia orgánica, respectivamente.

3.3. Aguas residuales

De acuerdo con la ley de aguas nacionales, se encuentran definidas como todas aquellas aguas de composición variadas provenientes de las descargas de usos municipales, industrias, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos y similares, así como la mezcla entre ellas (Ley de Aguas Nacionales, DOF 24-03-2016).

Algunos tipos de agua en función del origen de su contaminación son:

- Aguas residuales urbanas: materia orgánica y microorganismos.
- Aguas residuales industriales: minerales, orgánicos, inorgánicos, metálicos y

térmicos.

- Aguas residuales ganaderas: materia orgánica y microorganismos.
- Aguas residuales agrícolas: materia orgánica y pesticidas.
- Maras negras: hidrocarburos.

3.4. Contaminación ambiental generada por tenerías

La industria del cuero es considerada uno de los sectores más contaminantes debido a que en el proceso del curtido son necesarios alrededor de 500 kilos de productos químicos (tabla 3.3) para el procesamiento de una tonelada de cuero crudo (Greenpeace, 2012), se estima que un 85 % no se incorporan en el cuero acabado; así este se convierte en contaminante del medio ambiente: agua, suelo y aire.

Tabla 3.3. Productos industriales empleados y los contaminantes (Pérez, 2004).

Productos industriales importantes y los contaminantes derivados de su manufactura	
Productos	Contaminantes
Plásticos	solventes, compuestos orgánicos clorados
Pesticidas	compuestos orgánicos clorados, compuestos orgánicos fosfatados
Medicinas	solventes, metales (mercurio y Zinc)
Pinturas	metales, pigmentos, solventes, residuos orgánicos
Derivados del petróleo	aceites, solventes orgánicos, ácidos, álcalis
Metales	metales, fluoruros, cianuros, ácidos, aceites
Piel	Cromo, Zinc
textiles	metales, pigmentos, compuestos orgánicos clorados, solventes.

Esta industria contempla un proceso que inicia con el sacrificio y faenado del ganado, para seguir con su desuello, del que se obtiene la piel, la cual es sometida

a un proceso de curtición y terminado, y de esta forma entregarla para la fabricación de productos de diversa índole como cinturones, carteras, bolsas, calzado, vestido, maletas, maletines, revestimiento de muebles, tapicería interna de vehículos, sillas de montar y gran variedad de productos de consumo (Corredor, 2006) .

La producción del cuero requiere la eliminación de la mayoría de los componentes de la piel cruda (Greenpeace, 2011) de la cual se termina aprovechando únicamente el 20 % del peso; el otro 80 % se descarta como residuo. Como consecuencia directa, se generan importantes volúmenes de residuos sólidos, emisiones gaseosas, efluentes líquidos con una combinación extremadamente compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos que hace que el sector sea altamente contaminante. Se estima que, por cuero, se utilizan, para el caso de ovinos, alrededor de 200 a 300 litros y para vacunos de 750 a 1000 litros de agua.

3.4.1. Descripción de los principales procesos de curtación

El proceso de curtido se resume como las etapas en los cuales las pieles de diferentes tipos de animales son transformadas en cuero. Durante el proceso se diferencian cuatro etapas: etapa de pretratamiento y almacenamiento, la etapa de ribera (recepción de pieles, lavado, pelambre, descarnado y dividido). La etapa de curtido, que consiste en el desencale, lavado, y curtido y finalmente la etapa de acabado (teñido, engrasado, lavado y secado) (Córdova *et al.*, 2014).

3.4.1.2. Etapa de Pretratamiento y almacenamiento

El proceso del cuero empieza después del sacrificio del animal, y en muchos casos se almacena la piel por tiempos prolongados. Cuando ellas son almacenadas, deben recibir un tratamiento para impedir el desarrollo de microorganismos, entre los cuales se encuentran:

- Pielles saladas: La preservación se realiza inicialmente por inmersión en salmuera. Las pieles se apilan, intercalándolas con una capa de sal. En estas

condiciones se pueden guardar por meses previos al proceso de curtición.

- Piel verde: Cuando el tiempo entre el sacrificio del animal y el procesamiento de la piel es corto, la curtición se puede iniciar sin ningún pre-tratamiento, y a esto se le denomina piel verde.

3.4.1.3. Etapa de ribera

El objetivo de esta etapa es facilitar la estepa del curtido. Se emplea sulfuro de sodio (Na_2S) y cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), para eliminar la epidermis de la piel además del pelo que recubre la piel a ser curtida en el proceso productivo (CTPS, 2003).

En este proceso se genera la mayor cantidad de los efluentes líquidos y además altos valores de pH, cal sulfatos, así como también sulfuros y una elevada DBO debido a la presencia de materia orgánica.

3.4.1.4. Etapa de Curtido

El curtido consiste en la estabilización de la estructura de colágeno que compone al cuero, usando productos químicos naturales o sintéticos. Existen tres tipos de proceso de curtido.

- Curtido vegetal: este tipo de curtición emplea taninos vegetales, se usa para la producción de suelas. Las fuentes de tanino más empleadas son: el extracto de quebracho y corteza de acacia negra y mimosa.
- Curtido mineral: el curtido mineral se usa en la producción de cueros para la fabricación de calzados, guantes, ropa, bolsos, etc. Se emplean sales de cromo trivalente óxido crómico (Cr_2O_3), magnesio (Mg) y aluminio (Al). La ventaja principal de este proceso es la reducción del tiempo.
- Curtido sintético: en el curtido sintético se usan curtientes orgánicos sobre la base de formol, quinona y otros productos. Estos curtientes proporcionan un curtido más uniforme. Debido a sus costos elevados, son pocos usados.

3.4.1.5. Etapa de acabado

En esta etapa se mejora el acabado del cuero, otorgándole mayor brillo, color, y resistencia a la luz, mediante la incorporación de ciertos aditivos como pigmentos, cera, taninos, entre otros. Dependiendo del acabado del cuero este es utilizado para la fabricación de zapatos, cinturones, arneses, sillas de montar, tapicería y vestimenta en general.

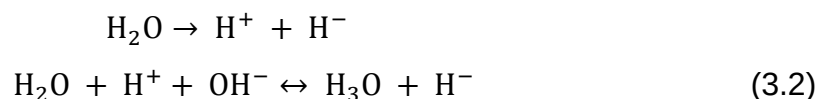
3.5. Parámetros fisicoquímicos empleados para la determinación de la calidad del agua

3.5.1. pH

El potencial hidrogeno o pH, expresa la intensidad de un ácido, dependiendo de su capacidad de disociación, así como de su concentración. Dónde H_3O^+ = concentración del ion hidronio en moles/L.

$$pH = \log \frac{1}{[H_3O^+]} \quad (3.1)$$

El agua es un electrolito débil, en consecuencia, sólo una pequeña fracción de ésta se disocia en los iones que componen la molécula: H_3O^+ (ion ácido) y OH^- (ion básico). La siguiente ecuación describe el equilibrio de disociación del agua.



3.5.1.1. Importancia ecológica

El pH de un cuerpo de agua es un parámetro a considerar cuando queremos determinar la especiación química y solubilidad de varias sustancias orgánicas e inorgánicas en agua (Atlas y Bartha, 2002).

Por ejemplo, si el pH ($\text{pH} > 1$) aumenta, los hidróxidos de metales comienzan a precipitarse, o visto en sentido contrario, la solubilización de los hidróxidos aumenta con la disminución del pH. A un pH neutral, hierro, aluminio y cobre se encontrarían como hidróxidos insolubles.

El pH es un factor abiótico que también regula procesos biológicos mediados por enzimas (ej. fotosíntesis, respiración); la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano en muchos ecosistemas (ej. NH_4^+ , PO_4^{3-} y Mg^{2+}); la movilidad de metales pesados tales como cobre, que es tóxico para muchos microorganismos; así como también afecta o regula la estructura y función de macromoléculas y organelos tales como ácidos nucleicos, proteínas estructurales y sistemas de pared celular y membranas. Variaciones en pH pueden tener entonces efectos marcados sobre cada uno de los niveles de organización de la materia viva, desde el nivel celular hasta el nivel de ecosistemas.

3.5.2. Temperatura

La temperatura es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema.

Por ejemplo, el funcionamiento de los ecosistemas puede regular o afectar otros factores abióticos del mismo como son: la solubilidad de nutrientes, solubilidad de gases, el estado físico de nutrientes, el grado de toxicidad de xenobióticos y propiedades fisicoquímicas del medio acuoso como: pH, potencial redox, solubilidad de gases, densidad, el estado físico y la viscosidad del sustrato. Todas estas interacciones afectan a su vez la distribución, composición (diversidad) y el grado de actividad metabólica de los seres vivos que integran un ecosistema.

3.5.3. Conductividad

La conductividad es la medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la

solución. Dicha capacidad depende de la presencia de iones; de su concentración, movilidad y valencia, y de la temperatura ambiental.

Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos (ej. aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato) son relativamente buenos conductores. Por el contrario, moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas (ej. aceites, fenoles, alcoholes y azúcares) son pobres conductores de una corriente eléctrica.

La conductancia (G, recíproco de resistencia R) de una solución se mide utilizando dos electrodos químicamente inertes y fijos espacialmente. La conductancia de una solución es directamente proporcional al área superficial del electrodo A, (cm²), e inversamente proporcional a distancia entre los electrodos L, (cm). La constante de proporcionalidad, k (conductividad) es una propiedad característica de la solución localizada entre dos electrodos.

$$G = k \frac{A}{L} \quad (3.3)$$

La conductividad puede relacionarse a:

- La pureza química del agua (mientras más pura es el agua, menor es la concentración de electrolitos en el agua y, por ende, mayor es la resistencia del medio a la transmisión de una corriente eléctrica).
- La cantidad de sólidos disueltos en una solución y a la eficiencia de procesos de tratamiento de agua.
- La concentración de sales en una salmuera o salar.

3.5.4. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos vivos, dada su dependencia del proceso de respiración aeróbica para la generación de energía y para la movilización del carbono en la célula. Además,

el oxígeno disuelto es importante en los procesos de: fotosíntesis, oxidación-reducción, solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica. Los niveles de oxígeno disuelto necesarios para sostener la vida de organismos acuáticos varían de una especie a otra (Cole, 1983).

Los factores que contribuyen a la cantidad de oxígeno presente en el agua son temperatura, salinidad y la presión atmosférica. La concentración de oxígeno en agua es inversamente proporcional con la temperatura. Si elevamos la temperatura del agua a su punto de ebullición generamos una solución libre de oxígeno. Podemos generalizar que, a cualquier presión atmosférica, aguas frías saturadas con oxígeno contienen una mayor cantidad de oxígeno disuelto que aguas tibias o calientes. No obstante, la relación inversa entre temperatura y la concentración de oxígeno disuelto puede verse alterada en ambientes naturales por efecto de los procesos de fotosíntesis y respiración.

Los cambios estacionales generan alteraciones significativas en la temperatura de los cuerpos de agua. Dichas alteraciones en temperatura tendrán, a su vez, un efecto sobre los niveles de oxígeno disuelto. Aumentos en la temperatura del agua traen como consecuencia una disminución en los niveles de oxígeno disuelto.

3.5.5. Dureza y alcalinidad

3.5.5.1. Dureza

Se consideran aguas duras aquellas aguas que requieren considerablemente cantidad de jabón para producir espuma y además producen incrustaciones en las tuberías para agua caliente, calentadores, calderas y unidades en las cuales la temperatura del agua aumenta (García, 1998).

El carbonato de calcio produce incrustaciones poco consistentes y apenas adherentes. Por el contrario, el sulfato de calcio forma incrustaciones muy duras sobre todo en las partes más calientes de las calderas. La sílice produce una costra

dura y poco conductora de calor. La dureza de las aguas naturales varía considerablemente de acuerdo con el lugar. El general, las aguas superficiales son más blandas que las aguas subterráneas. La dureza de un agua refleja su naturaleza en cuanto la forma geológica con la cual ha estado en contacto. Los principales aniones asociados se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 3.4. Cationes y aniones asociados causantes de la dureza. (García, 1998).

CATIONES Causantes de dureza	ANIONES Asociados
Ca^{2+}	HCO_3^-
Mg^{2+}	SO_4^-
Si^{2+}	Cl^-
Fe^{2+}	NO_3^-
Mn^{2+}	SiO_3^-

En la práctica, debido a la gran diferencia que existe en las aguas naturales entre las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} y los otros cationes que producen dureza, se acostumbra a decir que la dureza se debe, a la presencia de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+}

Clasificación de las aguas según su dureza.

0-50 ppm	Aguas muy suaves
50-100 ppm	Aguas moderadamente suaves
100-150 ppm	Aguas ligeramente duras
150-300 ppm	Aguas duras
300 – o más ppm	Aguas muy duras.

Se ha clasificado a la dureza según: (García, 1998)

1. El ion metálico (catión)

Dureza al calcio (D_{Ca})

Dureza al magnesio (D_{Mg})

2. El ion asociado (anión)

Dureza carbonatada.

Dureza no carbonatada.

Por lo anterior se acepta que la dureza se debe a la presencia de Ca^{2+} y Mg^{2+} podemos escribir en la ecuación 3.4.

$$D_T = D_{Ca} + D_{Mg} \quad (3.4)$$

Donde:

$$D_T = \text{Dureza Total} \quad (3.5)$$

La dureza total es: químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes en aguas, a esta dureza se le denomina carbonatada (D_C). Como el bicarbonato en las aguas naturales es usualmente medida como alcalinidad y expresada en términos de $CaCO_3$, la alcalinidad de la mayoría de las aguas naturales es considerada igual a la dureza carbonatada. Como esta dureza carbonatada es posible eliminarla hirviendo el agua durante cierto tiempo, algunos autores la llaman dureza temporal.

La parte de calcio y magnesio que queda disuelto, para asociarse con los sulfatos, nitratos y cloruros de los metales alcalinos térreos, es el que proporcionan al agua la dureza no carbonatada, también llamada Dureza Permanente.

$$D_T = D_C + D_{NC} \quad (3.6)$$

Donde:

D_T	=	Dureza total
D_C	=	Dureza carbonatada
D_{NC}	=	Dureza no carbonatada

3.5.5.2. Alcalinidad.

El contenido del ion mono hidrógeno carbonato, mejor conocido como ion bicarbonato en un cuerpo de agua, es uno de los componentes el en equilibrio del sistema carbonato y tiene una relación muy íntima con el ácido carbónico (Kemmer, 1982). Uno de sus papeles es el de amortiguar el pH de un cuerpo de agua y no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Históricamente, la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa. Dicha correlación se debe en parte a que la disponibilidad del carbono es mayor en lagos alcalinos y también al hecho de que las rocas sedimentarias que contienen carbonatos, a menudo contienen también concentraciones relativamente altas de nitrógeno y fósforo (en comparación con el granito, otras rocas ígneas y regiones donde el lecho rocoso ha sido desgastado y lavado, los cuales generalmente contienen bajas concentraciones de estos dos nutrientes limitantes y del CaCO_3).

La alcalinidad total de una solución se define en forma operacional como su capacidad para neutralizar ácido (CNA) o la cantidad de ácido que se requiere por litro para disminuir el pH a un valor aproximado de 4.3. En las aguas naturales esta capacidad se puede atribuir a bases como HCO_3^- , CO_3^{2-} Y OH^- lo mismo que a las especies presentes, con frecuencia en pequeñas concentraciones, como son; silicatos, fosfatos, y bases orgánicas. Este parámetro se expresa por lo general en miligramos por litro o mili equivalentes por litro.

La alcalinidad de la mayoría de las aguas naturales superficiales está determinada principalmente por el sistema carbonato como se ve en la ecuación 3.7.

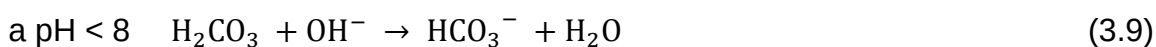
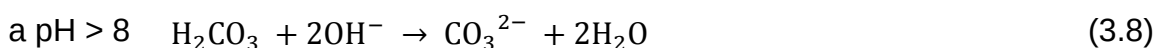
$$\text{Alcalinidad Total} = (\text{HCO}_3^-) + 2(\text{CO}_3^{2-}) + (\text{OH}^-) - (\text{H}^+) \quad (3.7)$$

EL contenido de bicarbonato en el agua está dado por el equilibrio del ácido carbónico (García, 1998). A partir de éste, se le puede obtener una relación porcentual en función pH para obtener las concentraciones de Bicarbonatos, Carbonatos (tabla 3.5). De esta relación se obtiene que en valores de pH mayores a 8, no hay prácticamente ácido carbónico libre (3.8), al mismo tiempo en los valores de pH menores a 8 (3.9), la cantidad del ion carbonato es despreciable. Por otra parte, en valores de pH menores a 5 se tiene que predominar la existencia del dióxido de carbono (3.10)

Tabla 3.5. Relación porcentual de las formas iónicas del sistema carbonato a 20°C.

Forma iónica.	pH							
	4	5	6	7	8	9	10	11
CO ₂	99.7	97.0	97.7	24.99	3.22	0.32	0.02	0.0
HCO ₃ ⁻	0.3	0.3	23.3	74.98	96.70	95.84	71.43	20.0
CO ₃ ⁻	0.0	0.0	0.0	0.03	0.08	3.84	28.55	80.0

Así se tiene que:



3.5.6. Nitritos y Nitratos

Debido al ciclo del nitrógeno, la presencia de nitratos y nitritos en el ambiente se da de manera natural; sin embargo, las actividades humanas modifican sus concentraciones y pueden hacer que estos compuestos sean potencialmente peligrosos para la salud humana y animal. El nitrito es un compuesto tóxico, debido a que se forman a partir de los nitratos, es un factor determinante en la incidencia de la toxicidad es la concentración de nitratos en el agua. El principal mecanismo de toxicidad de los nitritos es la oxidación del ion ferroso a ion férrico, lo que puede producir metahemoglobinemia, efectos cardiovasculares y efectos respiratorios. (Pacheco *et al.*, 2002).

Los nitritos son sustancias inestables, se generan debido a la nitrificación incompleta por falta de oxígeno, en general esto ocurre cuando el aporte de materia orgánica es superior a la capacidad de mineralización del suelo, y por la desnitrificación bajo la acción de las bacterias sobre nitratos y gérmenes de naturaleza patógena (figura 3.1). Rara vez excede la cantidad 1 mg/l en el agua residual, y 0.1 mg/l en el caso de aguas subterráneas y superficiales. A pesar de que su presencia suele darse en concentraciones pequeñas, los nitritos tienen grandes importancias en el estudio de aguas residuales y contaminación en el agua, como se mencionó anteriormente, el nitrito puede intoxicar a la gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas.

Los nitratos en el suelo y en las aguas subterráneas se originan de la descomposición natural por microorganismos de materiales nitrogenados orgánicos como las proteínas de las plantas, animales y excretas (Pacheco *et al.*, 2002) y dichas concentraciones de nitratos suelen incrementarse debido al uso de fertilizantes en la agricultura (Cabrera *et al.*, 2003). El nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en las aguas residuales, la agencia de protección ambiental por sus siglas en ingles EPA ha establecido un límite de 10 mg/l de nitrato como para consumo humano.

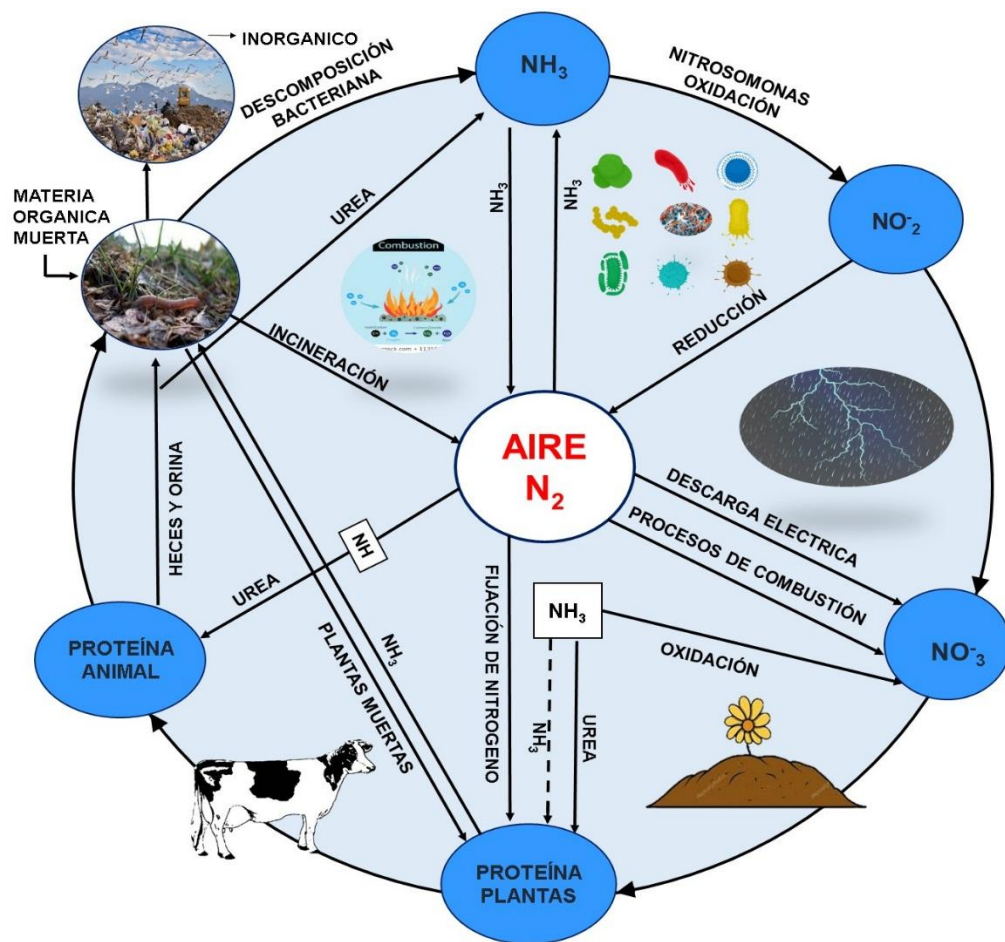


Figura 3.1: Ciclo del nitrógeno (Fuente: Elaboración propia)

3.5.7. Fosfatos

El fósforo, es considerado uno de los elementos nutrientes, por lo tanto, ayuda a la preservación de los seres vivos en el medio acuoso. Todos los organismos fitoplanctónicos obtienen fósforo de la columna de agua y este elemento es retornado a la misma, después de la muerte y descomposición de los organismos vivos (González, 1997).

El fósforo se clasifica en: fosfato soluble, fósforo orgánico soluble y coloidal. El fosfato soluble por lo general es una pequeña parte de la cantidad total del fósforo

presente en el agua. Las aguas con alto contenido de materiales húmicos tienden a tener más altos contenidos de fósforo que aguas limpias. Durante períodos de estancamiento, esto es, deficiencia de oxígeno, las aguas cercanas al fondo, comienzan a ser enriquecidas en fosfatos, por la descomposición del plancton y la reducción de los compuestos fosforados presentes en el sedimento.

Los análisis de fosfato sirven fundamentalmente para el control de la dosificación de productos químicos en los tratamientos o como medio para mostrar que existe contaminación.

3.5.8. Sulfatos

Los sulfatos presentes en agua dulce se originan de la mineralización de rocas en la cuenca de los lagos. No obstante, la mayoría del sulfato se deriva del agua de lluvia. El sulfato es el segundo anión de mayor abundancia en agua de lluvia, siendo el bicarbonato el anión más abundante. El sulfato presente en el agua de lluvia se deriva probablemente del azufre presente en el aire en forma de dióxido de azufre (SO_2). Este último, a su vez, se origina de dos fuentes: (1) emanaciones gaseosas de origen industrial y del (2) sulfuro de hidrógeno (H_2S), de origen biogénico y de origen geológico (ej. Emanaciones volcánicas y depósitos de gas natural) (García, 1998).

En el agua subterránea se encuentran el sulfato de calcio. La mayor parte de estas aguas contienen iones sulfatos hasta 70 mg/l, y a veces en cantidades superiores, especialmente en capas geológicas formadas por yeso y calcita. Además del sulfato de calcio pasan al agua subterránea, con bastante frecuencia los sulfatos de magnesio y de sodio. El contenido de ambos compuestos tiene que ser bajos en agua, porque la ingesta diaria media de sulfato causa diarrea, además de que cambia el sabor del agua y contribuye a la corrosión de los sistemas de distribución. En general, se consideran aguas no aptas para beber, ni otros usos específicos, aquellas cuyo contenido de sulfato sea mayor de 250 mg/l. (González, 1997).

Los sulfatos son importantes desde el punto de vista técnico, ya que representan el componente principal de agua con dureza no carbonatada en presencia de los cationes de calcio y magnesio principalmente. La dureza no carbonatada de los sulfatos es inconveniente, ya que la mayoría son insolubles, como, por ejemplo, el sulfato de calcio se cristaliza como anhidrita, resultado un problema cuando se usa especialmente en las calderas, ya que se adhiere en las paredes de la misma formando incrustaciones tan fuertes que solamente pueden eliminarse por medio de golpes. Los sulfatos que se presentan en alta concentración en las aguas superficiales y subterráneas, hacen grandes daños a las construcciones porque destruyen el concreto formando sulfoaluminato de calcio, el sulfoaluminato de calcio durante la cristalización absorbe gran cantidad de agua, aumentando su volumen y destruyendo la mampostería de las construcciones. El límite considerado como dañino es de 300 mg/l de SO_4^{2-} (kemmer y Mc Callin, 1985; Ramalho, 1991; OMS, 2003).

3.5.9 Calcio

El calcio presenta un solo estado de oxidación de +2, de entre las sales que genera se encuentra el CaCO_3 , que es el que se le atribuye la dureza de los cuerpos de agua natural. Está presente en muchos minerales, sobre todo en la piedra caliza. Los depósitos de piedra caliza son, con frecuencia, residuo de fósiles de pequeños organismos acuáticos. El calcio es uno de los factores principales para determinar el índice de estabilidad (González, 1997).

3.5.10. Magnesio

Al igual que el metal anterior, le magnesio presenta un estado de oxidación único de +2. Debido a su tamaño el ion metálico de este metal, forma complejos con mayor facilidad ya que es más metálico más polarizante que el Ca^{2+} por tener un radio más pequeño, asimismo la solubilidad de las sales de este metal con los iones cloruro, carbonato, y sulfato es mayor de las sales generadas con el ion calcio. La dureza

de magnesio de un agua es por lo general, aproximadamente una tercera parte de la dureza total. El magnesio es un componente primordial de muchos minerales, como la dolomita, magnesita, y muchas variedades de arcilla (González, 1997).

3.5.11. Hierro

Presenta preferentemente dos estados de oxidación $2+$ (reductor) y $3+$ (el más estable), aunque llega a presentar el estado de oxidación $+6$ el cual es fuertemente oxidante, por lo que es inestable. El hierro se encuentra en la mayor parte de las rocas ígneas y en los minerales arcillosos. En ausencia de oxígeno, el hierro es bastante soluble en estado reducido, sin embargo, cuando se oxida es parcialmente soluble (González, 1997).

3.5.12. Manganeseo

El manganeseo exhibe varios estados de oxidación importante: $+7$ (Fuertemente Oxidante), $+6$, $+4$, $+3$, Y $+2$ (el más estable). Las sales de carbonato y fosfato de manganeseo (II) son insolubles. También el $Mn(OH)_2$ precipita. Está presente en muchos suelos, sedimentos y además en las rocas metamórficas. En el agua libre de oxígeno, se disuelve fácilmente en estado manganesoso (Mn^{2+}). En el estado oxidado, el manganeseo es bastante insoluble. Los materiales orgánicos pueden quelatar el manganeseo al igual que lo hacen con el hierro. Debido a que el manganeseo se acumula en los sedimentos, en común encontrar niveles altos de manganeseo (García, 1997).

3.5.13. Sodio

El ion sodio forma sales solubles en agua con muchos aniones, aunque ciertos complejos en los minerales no lo son. La principal sal que se produce es la sal $NaCl$, aunque también se produce la sal de $NaNO_3$. Este metal no es considerado toxico, ya que su concentración no está limitada por los estándares federales de agua

potable, sin embargo, al ser consumido en grandes proporciones, sobre todo NaCl, genera problemas digestivos a los seres vivos (Corrales y Jacobo, 2002).

3.5.14. Potasio

Como metal, es más reactivo que el anterior, y las sales que genera son más solubles que las generadas por el sodio. Tiene la tendencia a formar poli haluros gradualmente más estables, como el $K^+I_3^-$. No es considerando como un metal toxico, aunque en concentraciones altas, puede generar alteraciones en los organismos vivos. El potasio está estrechamente relacionado con el sodio, tanto que rara vez se analiza como un componente separado en los análisis de agua, su ocurrencia es menor en la naturaleza y por esta razón se encuentra en concentraciones más bajas que en sodio (Corrales y Jacobo, 2002).

3.5.15 Cromo

El cromo es un elemento que ha sido identificado tanto como un micronutriente esencial, como un agente carcinogénico, dependiendo de su forma química. En su aplicación industrial, forma parte de curtientes, pigmentos y conservantes textiles, aleaciones, pinturas anti incrustantes, catalizadores, agentes anticorrosivos, lodos de perforación, baterías de alta temperatura, fungicidas, conservantes de madera, recubrimientos metálicos y electro galvanizados. Una vez iniciado el proceso de acumulación de cromo en el medio ambiente a partir de distintas fuentes (naturales o antropogénicas), puede verse transferido de unos compartimentos a otros del ecosistema: aire, aguas superficiales, sedimentos, aguas subterráneas, suelos y seres vivos (Corrales y Jacobo, 2002).

3.5.16. Plomo

El plomo con una estructura de valencia de $6s^26p^2$ presenta un radio iónico de 1.2 Å. En estado de oxidación (II) y 0.84 Å en estado de oxidación (IV), tiene a formar

compuestos divalentes debido a que sus dos electrones s con más inertes por el efecto de par inerte. El estado de oxidación más estable del plomo es (II). Los límites de plomo en el agua se han establecido como 0.025 mg/l (NOM-127-SSA1-1994).

3.6. Índices de calidad del agua

El índice de calidad de agua (ICA) es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado. En general, el ICA incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo acuático (lagos, presas, ríos) (Yogendra y Puttaiah, 2008).

El Índice de la Calidad del Agua (ICA) de la National Sanitation Fundantion (NSF) está basado en la estructura del índice de Horton y en el método Delphi que definen los parámetros que se utilizan en la ecuación 3.11 (pesos ponderados y subíndices I_i) (Pérez *et al.*, 2018).

$$ICA_m = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{n} \quad (3.11)$$

Dónde:

ICA = Índice de Calidad de Agua.

W_i = coeficiente de ponderación del parámetro i (Rubio *et al.*, 2014).

I_i = índice de calidad para el parámetro i (Castro *et al.*, 2014).

n = número total de parámetros.

CAPÍTULO 4

Capítulo 4

METODOLOGÍA

4.1. Metodología del muestreo del Río Tlacoapa

La recolección de muestras de aguas naturales (lagos, ríos, presas, etc.) es un proceso muy importante y difícil. De no tener cuidado, la muestra puede ser contaminada y arrojar datos erróneos en el momento de su análisis. Por esto se debe prestar especial atención a las estrategias de muestreo que represente de una manera precisa las características originales del lugar.

Las estrategias a seguir consisten en:

- Definir los parámetros fisicoquímicos que se van analizar
- Muestrear según el o los elementos a analizar
- Tratar la muestra según el o los elementos a analizar
- Analizar el elemento conforme al método más idóneo

4.1.1. Conservación de las muestras.

Las aguas naturales y tratadas, así como las residuales, originadas por los desechos industriales y domésticos, son sistemas en constante evolución; al tomar unas muestras de éstos y tratar de conservarla, resulta prácticamente imposible alcanzar la estabilidad completa de cada uno de los constituyentes (González, 1998) ya que los cambios químicos continúan inevitablemente en la muestra que ha sido

recolectada. Lo único que se puede lograr es retardar éstos cambios a través de técnicas de preservación.

Al sacar la muestra de la fuente y colocarla en un recipiente cerrado, cambia inevitablemente las condiciones de la temperatura, presión y pH, lo que ocasiona que se rompa el equilibrio que existía en la fuente. Los cationes sensibles a estos cambios pueden precipitar como hidróxidos o formar complejos con otros elementos generados por el cambio. Si las nuevas condiciones son oxidantes o reductoras, los cationes y aniones pueden cambiar de estado de oxidación (Corrales, 2002) otros simplemente, pueden disolverse o volatizarse con el tiempo (Martínez, 2000).

Las técnicas de preservación pueden retardar estos cambios en la muestra, ente los cuales se encuentran: la acción biológica, la hidrólisis de compuestos químicos y la volatilización de los constituyentes. Los métodos de preservación se limitan generalmente al control de pH de la muestra, adición química, refrigeración y congelación. En la tabla 4.1 se da las condiciones recomendadas por la agencia de protección del medio ambiente (EPA) de E.U.A para la conservación de algunos elementos de interés en las muestras.

Tabla 4.1. Recomendaciones de la EPA para conservación y envasado de muestras

ENSAYO A REALIZAR	CANTIDAD MÍNIMA	CONDICIONES DE CONSERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO RECOMENDADO	TIPO DE ENVASE
Análisis Físico-Químicos.				
Nitrato + nitrito.	500 ml	Conservante H₂SO₄ (pH <2) Refrigerar a <6°	14 días	Plásticos
Fosforo Total			28 días.	
DQO			48 horas.	
Nitrato	500 ml	Refrigerar a <6°	2 días a 20°	Plásticos.
Nitrito			14 días	
Alcalinidad			48 horas.	
Turbidez			48 horas.	
DBO			28 días	
Aniones (sulfatos, cloruros, floururos)			48 horas.	
Fosforo Disuelto o F. Soluble			Inmediato	
pH			28 días.	
Conductividad				

4.2. Muestreo de aguas en el Río Tlacoapa en el municipio de Coscomatepec, en el estado de Veracruz

Se elaboró el mapa de los sitios de muestreo utilizando el programa ArcMap de sistema de información geográfica, considerando las confluencias de otros ríos (figura 4.1) y algunos puntos de desembocadura de descargas de agua residual de tenerías del municipio.

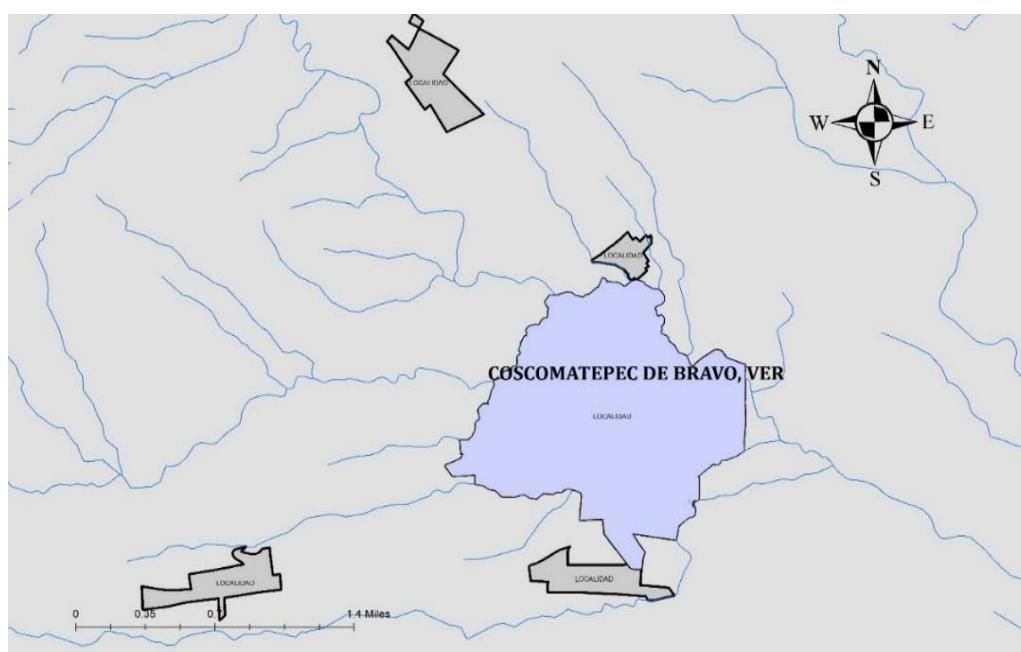


Figura 4.1: Red Hidrográfica en el municipio de Coscomatepec, Ver. (Fuente: elaboración propia)

Se establecieron cuatro puntos a lo largo del río, denominados como: P1, P2, P3 Y P4 (figura 4.2) con diferentes características (tabla 4.2).

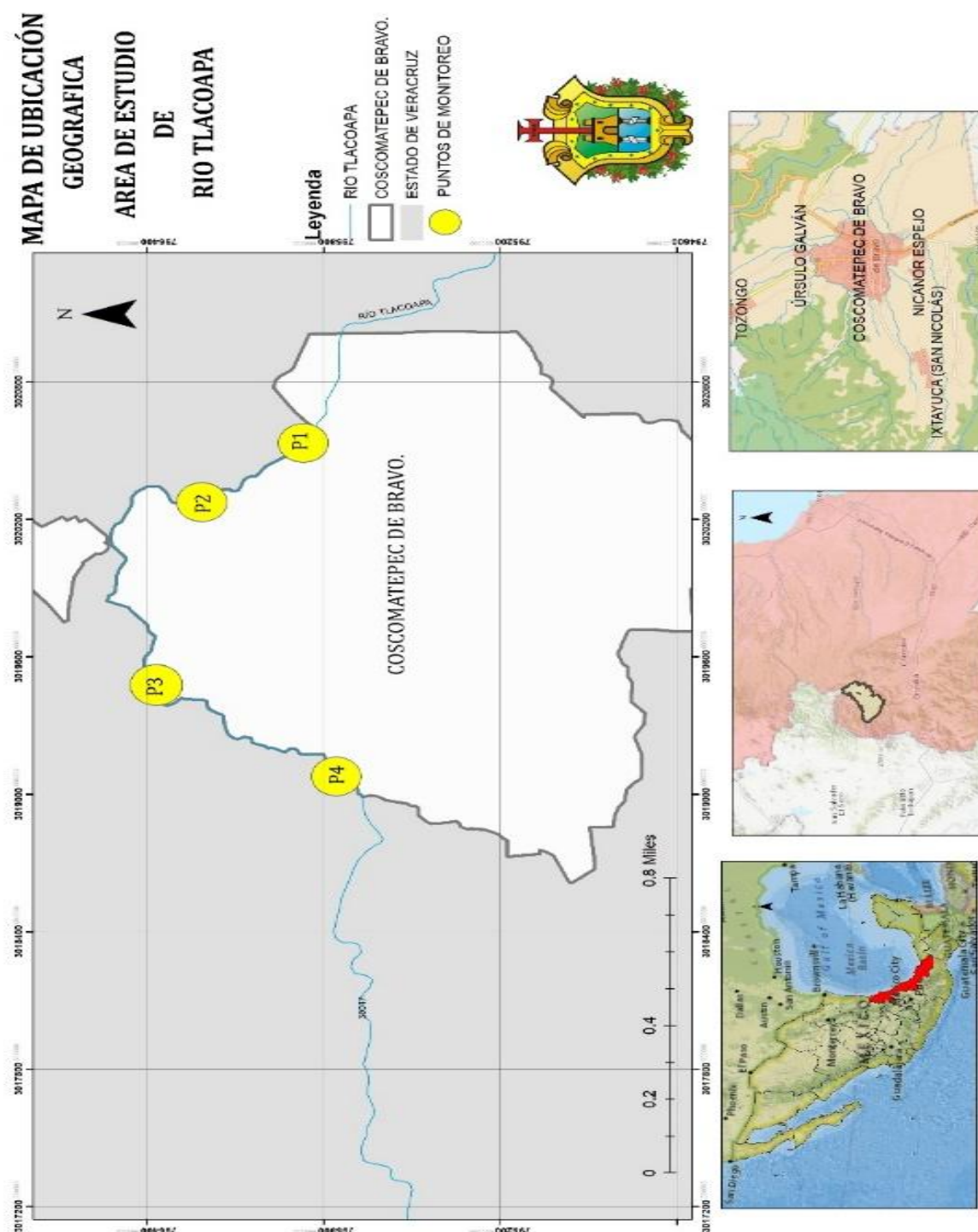


Figura 4.2: Zonas de muestreo en el Río Tlacoapa ubicado en el Municipio de Coscomatepec, Ver. (Fuente: elaboración propia)

Tabla 4.2. Coordenadas y características de los 4 puntos de muestreo en el río Tlacoapa

Sitio de muestreo	Latitud	Longitud	Características
P1	97° 02' 27"	19° 04' 38"	Se localiza río abajo, punto final de muestreo, se unen varios ríos provenientes de las localidades aledañas.
P2	97° 02' 31"	19° 04' 44"	Se sitúa cercano una microempresa de curtiduría, es una zona de poca profundidad.
P3	97° 03' 04"	19° 04' 57"	Es de suma importancia debido a que se encuentra ubicado entre la mayoría de microempresas de curtidurías, además se unen un influente de la localidad de Tozongo.
P4	97° 03' 20"	19° 04' 34"	El río Tlacoapa empieza a 500 mts desde el punto 4, donde se localiza una curtiduría con un tubo desembocando al río.

4.2.1. Pruebas de campo en el Río Tlacoapa en el municipio de Coscomatepec, Ver.

Los periodos de trabajo, tanto de las medidas en campo, como de recolección de muestras fueron realizados en los meses de:

- ❑ **septiembre de 2018**, después de lluvia; el día fue muy frío, la temperatura se mantuvo entre los 15 a 17°C, hubo presencia de humedad y nubosidad.
- ❑ **noviembre de 2018**; la temperatura fue de aproximadamente entre 20 y 26 °C durante el día y con muy poca insolación, hubo mucho viento alrededor de las 16 horas, lluvia y presencia de neblina.

Se efectuaron medidas en campo del: pH, conductividad eléctrica y temperatura utilizado el equipo Corning (figura 4.3 y figura 4.4). Para la determinación de profundidad se utilizó el equipo Secchi (figura 4.5).



Figura 4.3: Determinación de parámetros In situ.



Figura 4.4: Equipo Corning

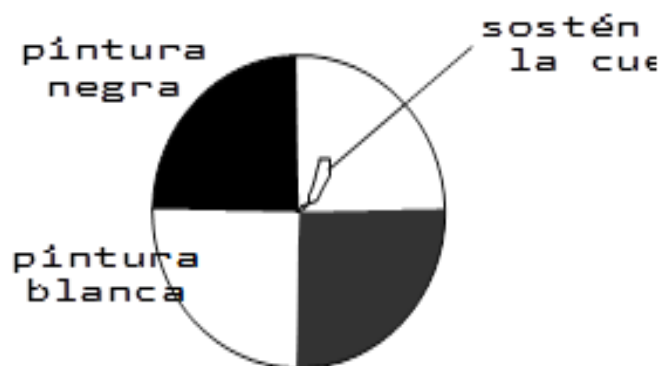


Figura 4.5: Disco Secchi

Se recolectaron las muestras de agua superficial y se adiciono el preservante requerido (figura 4.6), una vez preservada la muestra, se cerró herméticamente el frasco para evitar cualquier derrame del líquido, se etiquetaron y se transportaron al laboratorio G-111 del Área de Química y Fisicoquímica Ambiental de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco manteniendo un intervalo de temperatura de 1 a 4°C, considerando los tiempos de almacenamiento explicados anteriormente (tabla 4.1).



Figura 4.6: Conservación y almacenamiento de muestras

El proceso anterior se realizó en dos horarios de cada muestreo.

4.3. Análisis químicos a las muestras provenientes del Río Tlacoapa.

4.3.1. Determinación de dureza.

Este análisis se hizo tomando en cuenta la definición de “Dureza”, como la concentración de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} . Esta determinación se hizo por espectrofotometría de absorción atómica en flama. En la cual consiste en la determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica en aguas naturales, potables y residuales se basa en la generación de átomos en estado basal y en la medición de la cantidad de energía absorbida por estos, la cual es directamente proporcional a la concentración de ese elemento en la muestra analizada.

4.3.2. Determinación de alcalinidad

Se utilizó el método volumétrico para determinar la alcalinidad total en una muestra de agua por triplicado.

Reactivos utilizados:

1. Ácido sulfúrico 0.1 N: se preparó la solución madre, diluyendo 1.5 ml de H_2SO_4 conc. a 500 ml con agua destilada.
2. Ácido sulfúrico 0.02 N. Se diluyo 50 ml de la solución madre a 250 ml
3. Se preparó una solución Na_2CO_3 0.02 N. disolviendo 0.26 g Na_2CO_3 (seco a 140°C durante 24 horas)

Procedimiento

- Se midieron 50 ml de la muestra de agua y se determinó el pH.
- Se adicionaron 3 gotas de fenolftaleína y en caso de no desarrollar color se le agregaron 3 gotas de anaranjado de metilo.

- Se tituló con el ácido sulfúrico 0.02 N sobre la superficie blanca, hasta el punto de equivalencia, el cual se alcanza hasta cambiar el color del indicador a un color canela característico (figura 4.7)



Figura 4.7. Determinación de alcalinidad de los sitios de muestreo del Río Tlacoapa.

4.3.3. Determinación de iones

La determinación de nitratos y fosfato se realizó por espectrofotometría ultravioleta. Donde se utilizó un espectrofotómetro UV Shimadzu, modelo UV-160 para las lecturas de absorbancia de las muestras empleando una longitud de onda de 220 nm para nitratos y fosfatos 880 nm.



Figura 4.8: Equipo de espectrofotómetro UV Shimadzu, modelo UV-160

4.3.1.1. Determinación de Nitratos mediante espectrofotometría ultravioleta

La técnica de monitoreo espectrofotométrica ultravioleta (UV) mide la absorbancia del nitrato (NO_3^-) a 220 nm y es adecuada con aguas con bajo contenido de materia orgánica.

Reactivos

- Agua libre de nitrato, agua destilada o usar agua Ultra Pura (UP)
- Solución patrón de nitratos. Se secó nitrato de potasio en la estufa a 105°C por 24 horas. Se pesó y disolvió 0.1805 g de KNO_3 , y se aforo a 250 ml. Un 1 ml de esta solución equivale a 100 ppm N- NO_3 . Para conservarla se adiciono 0.5 ml de cloroformo CHCl_3/l . Esta solución es estable por un periodo de 6 meses.
- Solución estándar de nitratos. Se diluyo 50 ml de la solución madre a 500 ml con agua, un 1 ml = 10 ppm N- NO_3 . Para conservarla se adiciono 2 ml de cloroformo CHCl_3/l . Esta solución es estable por lo menos 6 meses.

- Solución de Ácido clorhídrico 1 N. Se disolvió 8.3 ml de HCl concentrado en 100 mL de agua desionizada.

Procedimiento

- a) Se prepararon 6 estándares de nitratos en un intervalo de concentraciones entre 0.2 a 4.0 mg/l y un blanco; añadiendo 0.5 ml de HCl.
- b) Las muestras fueron filtradas a través de membrana de acetato de celulosa de 0.45 micrómetros. Se midió 25 ml de muestra y se agregaron 0.5 ml de solución de HCl 1 N, se homogenizo.
- c) Se realizó una curva de calibración a partir de los valores de absorbancia de los estándares y se leyeron las muestras problema por triplicado.

4.3.1.2. Determinación de Fósforo soluble. Método azul de molibdato.

La determinación del fósforo se realizó por espectrofotometría UV-Visible. Se utilizó un espectrofotómetro UV Shimadzu. De acuerdo a la investigación de Barceló 2000 se utilizó la siguiente técnica.

Reactivos.

- Agua destilada o usar agua Ultra Pura (UP)
- Solución de molibdato de amonio Tetrahidratado. Se disolvió 3.5 g de molibdato de amonio Tetrahidratado $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 100 ml de agua destilada a 50°C, se añadió 87.5 ml de HCl 10 N y se aforó a 250 ml.
- Solución de Cloruro Estannoso. Se disolvió 2.5 g de SnCl_2 en 6.25 ml de HCL conc. Posteriormente se tomó 0.5 ml y se diluyo a 166 ml
- Solución de Fosfato monobásico de potasio: se diluyo 0.10975 g de KH_2PO_4 en 500 mL de agua destilada un 1,00 ml = 50 ppm PO^{-3}

Procedimiento

- a) Se prepararon 4 estándares de fosfato en un intervalo de concentraciones entre 1.0 a 5.0 mg/l.
- b) Posteriormente se colocaron 5 ml de la solución de KH_2PO_4 en un matraz aforado de 50 ml, se adicionaron 10 ml de la solución de molibdato y 5 ml de la solución diluida de SnCl_2 , finalmente se aforó con agua destilada. Se agito y se dejó reposar 5 minutos (figura 4.9)
- c) Se coloraron las celdas del espectrofotómetro en la rejilla porta tubos, incluir una celda para el blanco.
- d) Se realizó una curva de calibración a partir de los valores de absorbancia de los estándares y se leyeron las muestras problema por triplicado.



Figura 4.9: Estándares de Fosfatos

4.3.1.3. Determinación de Nitritos por el método colorimétrico

La determinación de nitritos se realizó espectrofotométricamente ($\lambda = 507 \text{ nm}$), este método reacciona con el ácido sulfánilico para formar sal de diazonio que reacciona con el ácido cromotrópico para producir un complejo de color rosa (figura 4.10), este color es proporcional a la cantidad de nitrito presente.

Procedimiento

- Se introdujo el método correspondiente 371- N nitrito HACH 8507 y se ajustó la longitud de onda a 507 nm.
- Se tomó 10 ml de cada muestra, se adiciono el reactivo de NitraVer3, y posteriormente se esperó a 20 minutos de su reacción para ser leída.



Figura 4.10: Presencia de Nitritos en el agua del Río Tlacoapa.

4.3.1.4. Determinación de sulfatos por turbidimetría.

El principio del método Turbidimétrico se basa en lo iones de sulfatos precipitan en medio ácido en presencia de cloruro de bario para formar pequeños cristales de tamaño uniforme de sulfato de bario.

Esta suspensión de sulfato de bario, causa una turbiedad en la solución, cuya absorbancia es mediada por el espectrofotómetro. La absorbancia del sulfato de bario se determina por la diferencia con la absorbancia de la solución antes de añadir el agente precipitante.

Procedimiento

- Se Introdujo el método correspondiente 680- SO_4 , en el espectrofotómetro Hach (figura 4.11), y ajustar la longitud de onda a 450 nm
- Se tomó 10 ml de cada muestra, y se adiciono el reactivo de SulfaVer 4, se agito y se esperó a 5 minutos de su reacción y en seguida se leyó.



Figura 4.11: Espectrofotómetro Hach.

4.3.4. Determinación de metales totales

La técnica del microondas consiste en campos magnéticos a ángulos rectos y oscilación eléctricos (Collins, 1986). El campo eléctrico en la oscilación causa en los líquidos energía calorífica; donde los líquidos son calentados por dos mecanismos: por rotación dipolo y conducción iónica. Debido a la rotación de las moléculas están constantemente cambiando de posición, es decir, las de atrás pasan hacia adelante, causando choques con otras moléculas cercanas generando calor. Los iones en solución causan migración provocando choques con otras moléculas y por consiguiente provocan calentamiento. Los dos mecanismos ocurren simultáneamente y contribuyen al calentamiento del líquido y a la ruptura de los enlaces (García, 1998).

Las muestras para la medición de metales totales, se procesaron con ácido nítrico (HNO_3) en un horno de microondas (figura 4.12).



Figura 4.12: Horno de microondas (CEM-MARS 5).

4.3.4.1. Tratamiento de las muestras para el análisis de los metales totales (Digestión ácida por microondas).

- a) Se transfirieron 50 ml de muestras en las vasijas y se añadió 5 ml de HNO_3
- b) Se colocaron las membranas de ruptura en la tapa de protección del vaso. Repetir los pasos anteriores con 7 vasos más.
- c) Posteriormente se sellaron todos los vasos menos el vaso que lleva el sensor de presión y temperatura, después se colocaron en la tornamesa de vasos Se encendió el horno de microondas. Se hizo girar el carrusel para verificar que estén bien colocados (figura 4.13)
- d) Se programó el instrumento de acuerdo a las fases o programas (tabla 4.3) Se presionó el botón de start y dejó las muestras en digestión. Terminando el programa de selección, las muestras se dejaron en enfriamiento a una temperatura ambiente, posteriormente se abrieron los vasos y se filtrar la solución en un recipiente apropiado.
- e) Se llevó el análisis basándose en un volumen final de 100 ml. (Aforado a 100ml)
El ataque de las muestras se hizo por duplicado para cada sitio del muestreo

Tabla 4.3. Programa de digestión para muestras de agua del rio Tlacoapa, para el análisis de metales totales

Etapa	Potencia	Rampa	Control		Mantenimiento
	Max	%	Psi	°C	
1	1200 W	100	0180	190°	5:00



Figura 4.13: Sensores de Presión y Temperatura para controlar el método seleccionado

4.3.5. Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Los análisis de los diferentes iones metálicos se realizaron por absorción atómica en un equipo Thermo Elemental, modelo SOLAAR M6 (figura 4.14)

Este aparato consiste de una fuente de luz que emite el espectro de línea de un elemento (lámpara de un cátodo Hueco) y un sistema para atomizar la muestra (normalmente de una flama) un medio para aislar una línea de resonancia a una longitud de onda determinada (monocrador); un detector fotoeléctrico con equipo de amplificación y medición electrónica.



Figura 4.14: Espectrofotometría de absorción Atómica equipo Thermo Elemental, modelo SOLAAR M6

Operación del instrumento.

Debido a las diferencias que existen entre los distintos espectrofotómetros no es posible formular las instrucciones aplicables a todos los instrumentos. En general se procede a los siguientes pasos.

- a) Se activó la compresora y los tanques de gas.
- b) Se encendió el aparato Thermo Elemental, modelo SOLAAR M6 y seleccionar el programa
- c) Se seleccionó el metal que se leerá y ajustar los parámetros
- d) Se instalaron las lámparas de cátodo hueco de los metales analizar. Está debe estar alineada de acuerdo con las instrucciones del fabricante
- e) Posteriormente las lámparas de cátodo hueco se calentaron hasta que se estabilice la fuente de energía; normalmente de 20 a 30 minutos
- f) Se seleccionó la longitud de onda y la abertura de la ranura de acuerdo con

lo propuesto en el instructivo del aparato, lo más usuales se dan la tabla 3.2 del apéndice 3

- g) Se introdujeron los datos del metal, si no se tiene la altura y el flujo de gas, se procedió optimizar con un estándar con concentración conocida y absorbancia conocida para ajustar el quemador
- h) Se ajustó a cero el aparato con un blanco (agua desionizada)
- i) Finalmente se realizó una curva de calibración para cada metal

4.4. Determinación de índices de calidad

Para el cálculo de los índices de calidad se eligieron los parámetros más comúnmente utilizados en la literatura, así como los de mayor importancia de acuerdo al uso del agua, basados en la ecuación de índice de calidad (3.11).

CAPÍTULO 5

Capítulo 5

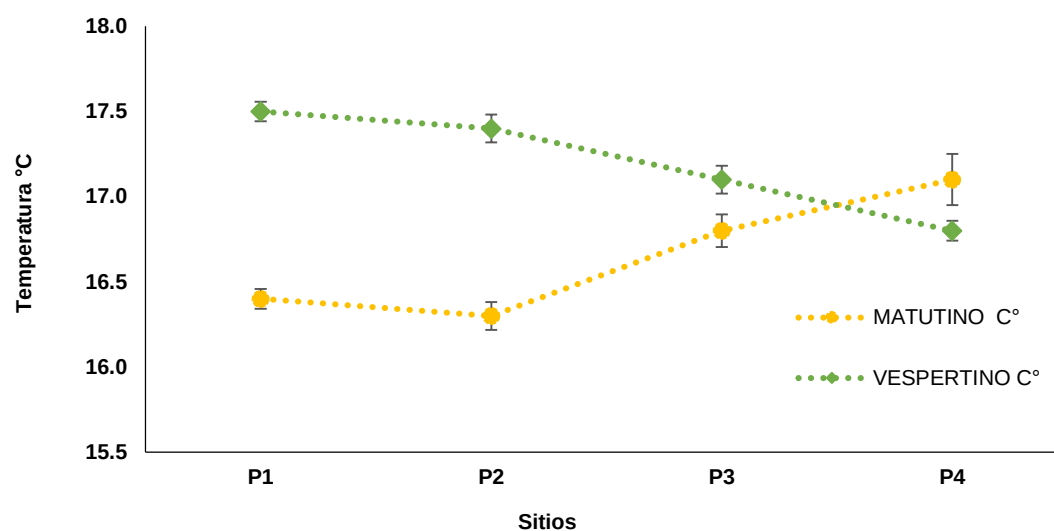
ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los parámetros físicos-químicos se realizaron en los meses de septiembre y noviembre en el río Tlacoapa, Coscomatepec, Ver., donde se delimitaron cuatro zonas de estudio (tabla 4.1), considerando la metodología antes descrita. En cada zona se determinaron parámetros in situ (temperatura, oxígeno disuelto, pH, y conductividad) en dos horarios diferentes (matutino y vespertino). Posteriormente con las muestras recolectadas se determinaron aniones, metales, alcalinidad y dureza, en el Laboratorio del Área de Química y Fisicoquímica Ambiental (Lab G-114) en la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco en la Ciudad de México.

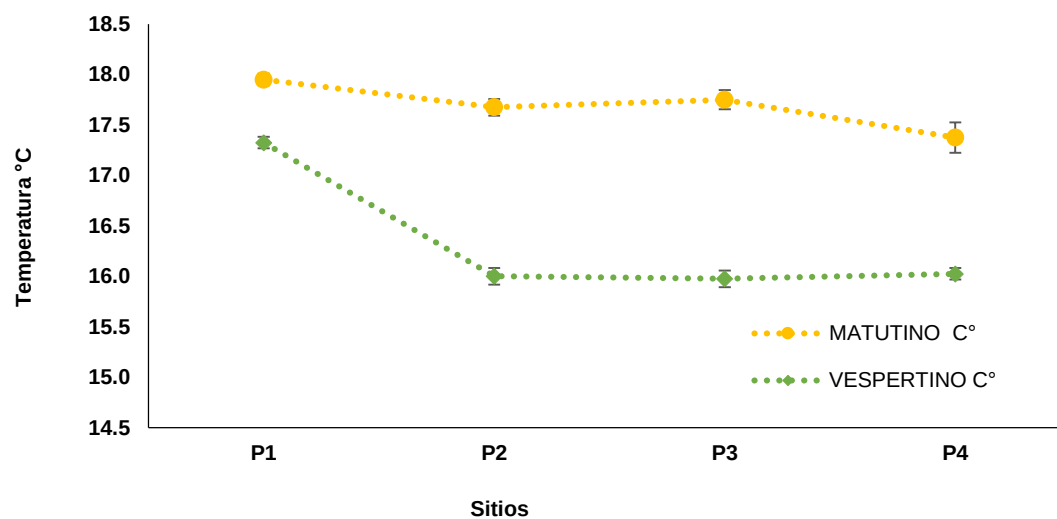
5.1. Parámetros Físicos

5.1.1. Temperatura del agua

Los parámetros de temperatura en el muestreo de septiembre con respecto en la mañana fueron de menor a mayor conforme va saliendo sol (figura 5.1a). Con respecto al muestreo de noviembre el comportamiento fue completamente diferente, ya que la temperatura en el muestreo matutino fue de 18° C disminuyendo por muy poco conforme el día avanza, aunque para el muestro vespertino baja dos grados centígrados (figura 5.1b) esto se le atribuye al cambio de clima que se presentó el día del muestreo.



a) Muestreo Septiembre



b) Muestreo Noviembre

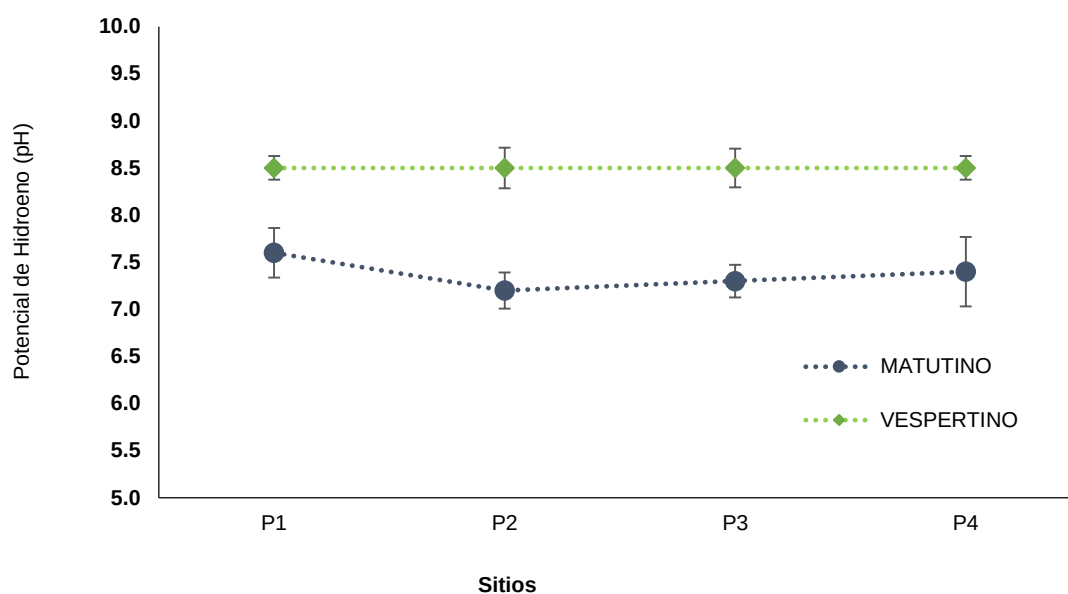
Figura 5.1: Temperatura del agua en muestreos

5.1.2. Potencial de hidrogeno

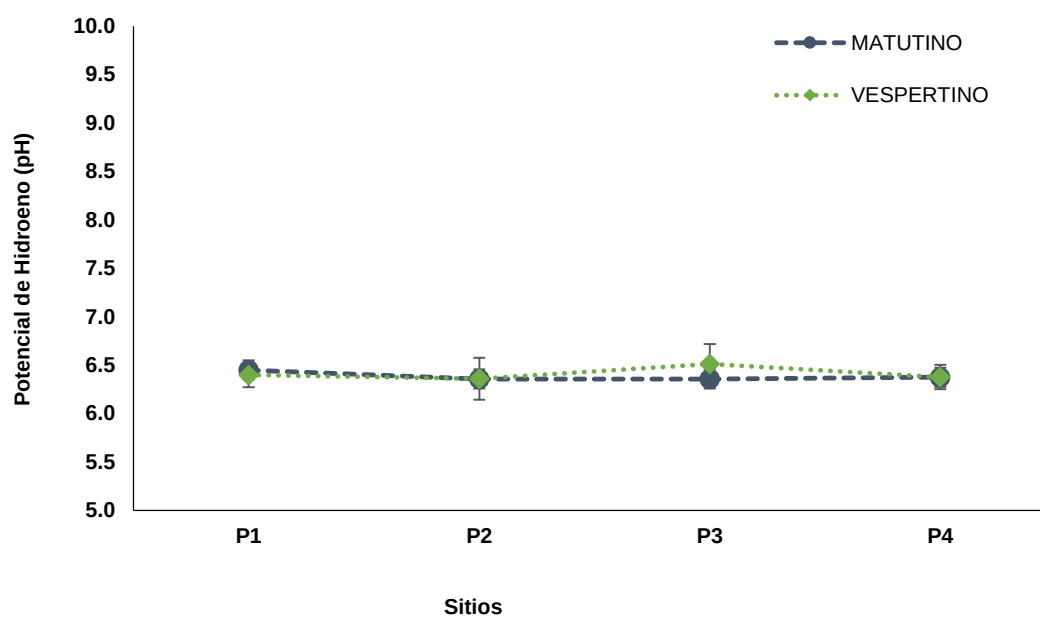
El potencial de hidrogeno del muestreo de septiembre con respecto al muestreo matutino presento valores de pH ligeramente alcalinos (7.6) para el punto 1, mientras que los demás puntos se mantuvieron a un pH de 7.2 a 7.3 (figura 5.2a). En el muestreo vespertino los valores de pH fueron más altos comparados con la mañana (8.5), este cambio se puede atribuir a dos cosas; una por el arrojamiento de sustancias carbonatadas al agua por las microindustrias alrededor o por los procesos biológicos que presenta el agua, en un sistema acuático el aumento de la temperatura del agua potencia el proceso de la fotosíntesis, y por ende los niveles de dióxido de carbono disminuye, mientras que los niveles de oxígeno aumentan, ocasionando que el pH del sistema aumente (Hernández *et al.*, 2003).

El muestreo de noviembre los valores de pH fueron ligeramente ácidos (6.4) tanto en el muestreo matutino como vespertino (figura 5.2b), presentado este comportamiento en los cuatro sitios muestreados, esto es atribuible a la presencia de lluvia.

Así mismo, al comparar estos resultados con los estipulados en agua para uso de riego agrícola y consumo humano, donde los valores fluctúan entre 6 a 9, se puede observar que cumplen con lo establecido por la norma mexicana (NOM-127-SSA1-1994) ya que la media del pH se encuentra dentro de los intervalos establecidos.



a) Muestreo Septiembre



b) Muestreo Noviembre

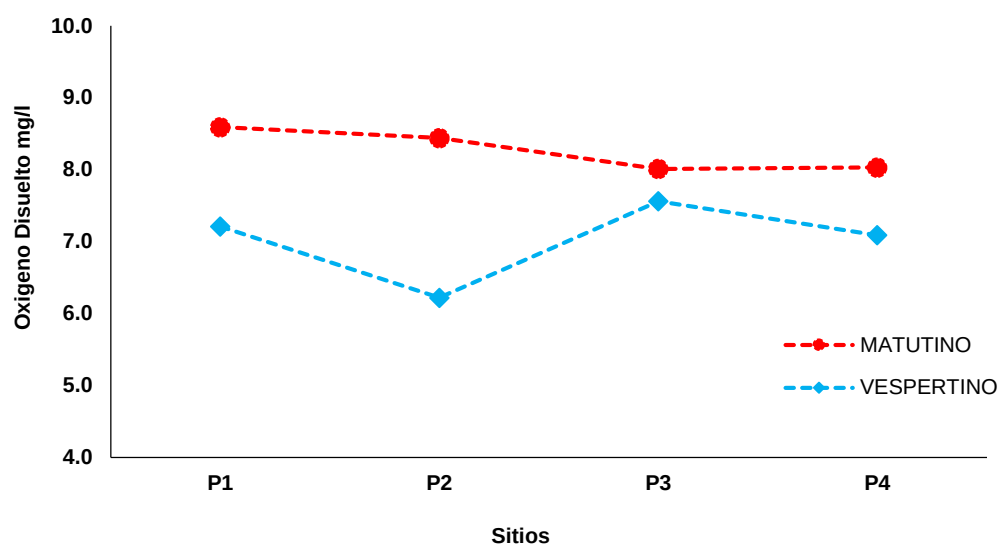
Figura 5.2: Potencial de hidrogeno (pH) en los muestreos

5.1.3. Oxígeno Disuelto.

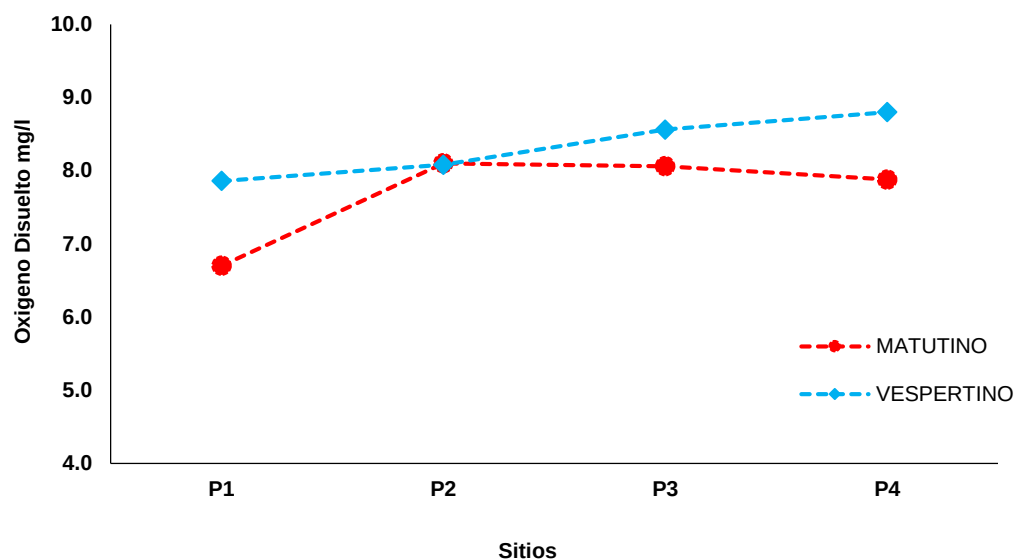
El oxígeno disuelto del muestro de septiembre en el turno matutino mostró cantidades promedio de 8.2 mg/l en el área monitoreada del río Tlacoapa, siendo el punto 1 con mayor concentración (8.9 mg/l), comparado con los otros tres puntos muestreados (figura 5.3a), se observa que los valores de oxígeno disuelto van disminuyendo conforme el día transcurre, un comportamiento similar ocurre con el muestreo vespertino, se determinó un valor promedio igual a 7 mg/l menor del obtenido en el muestreo de la mañana, donde los valores obtenidos fueron para el p1 (7.21 mg/l), p2 (6.22 mg/l), p3 (7.56 mg/l) y punto 4 (7.09 mg/l) (figura 5.3a). Esto se puede atribuir a los cambios de temperatura que presentó el agua, a medida que la temperatura aumenta, los niveles de oxígeno disminuyen y la actividad fotosintética aumenta.

En el muestreo de mes de noviembre se determinó una concentración promedio más baja de oxígeno disuelto (7.6 mg/l) compara con el muestreo del mes de septiembre, para el punto 1 (6.7 mg/l) y posteriormente un aumento en los puntos 2 y 3 (figura 5.3b), finalmente en el punto 4 decrece esta concentración (7.8 mg/L). Para el muestreo vespertino, se observa una tendencia semejante, el punto 1 (7.86 mg/l) y los demás puntos aumentan ligeramente (p2, p3 y p4), sin embargo, la concentración promedio (8.3 mg/l) aumentó, este cambio en la concentración de oxígeno disuelto se atribuye a la lluvia que se presentó durante el muestreo.

Este parámetro no se encuentra normado en la NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-001-ECOL-1996, pero considerando los criterios ecologicos de calidad del agua CE-CCA-001/89 se establece la concentración de oxígeno disuelto entre 4 - 5 mg/l, donde los valores promedios de oxígeno disuelto obtenido en ambos muestreos presentaron concentraciones mayores. Empleando los intervalos de consecuencias eco sistémicas frecuentes (cita) se tiene que el agua es adecuada para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos, debido a que sus valores promedio oscilaron entre 8 y 9 mg/l de oxígeno disuelto.



a) Muestreo Septiembre



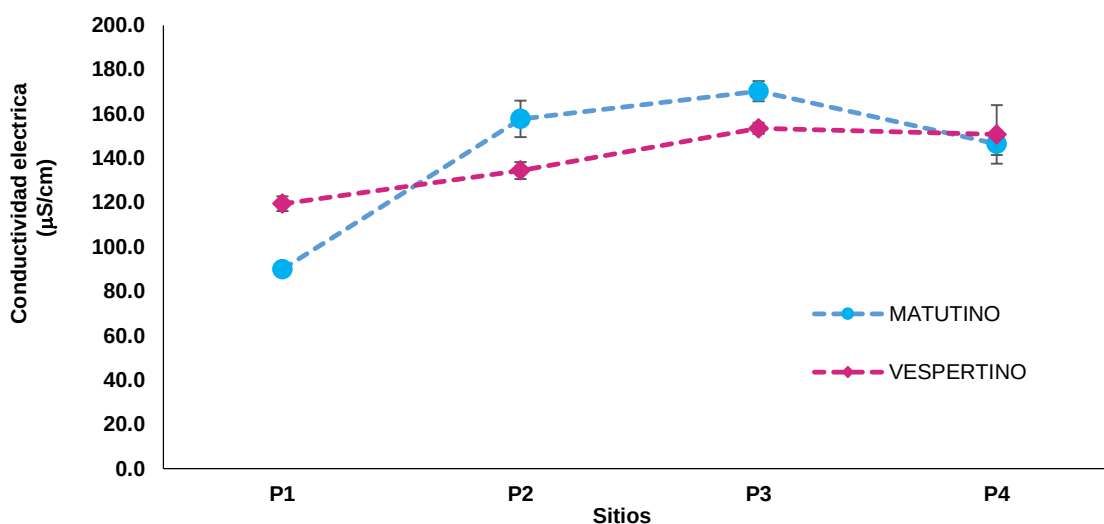
b) Muestreo Noviembre

Figura 5.3: Oxígeno disuelto en los muestreos

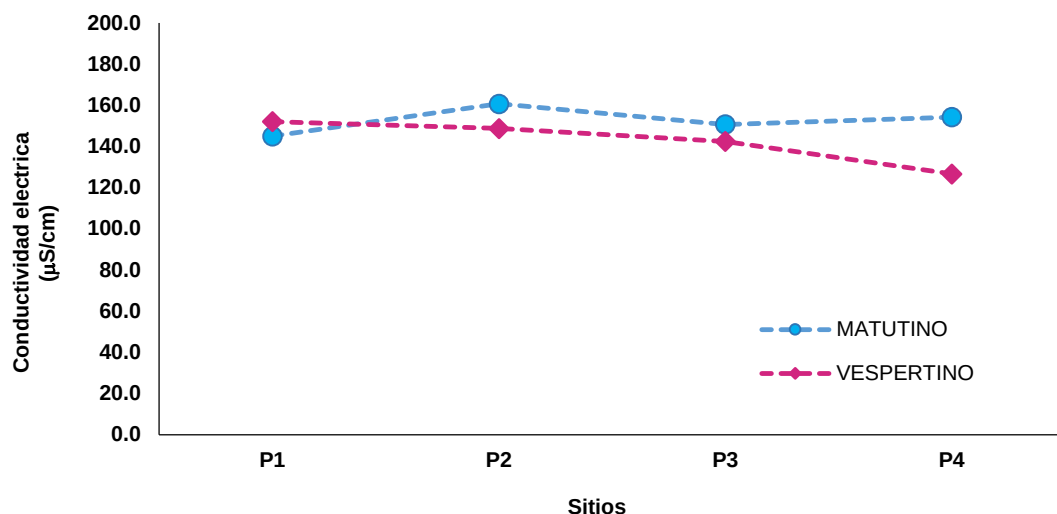
5.1.4. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica promedio determinada en el punto 3 fue de 170 y en el p2 de 157 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estos valores fueron los más altos que en los otros puntos del muestreo, este comportamiento es semejante en el turno vespertino (figura 5.4a) cabe señalar que son sitios cercanos a descargas de curtidurías.

Para el muestreo del mes de noviembre se presentó un comportamiento similar, (figura 5.4b) no obstante se aprecia que los valores de conductividad son más altos en el turno matutino que el vespertino.



a) Muestreo Septiembre



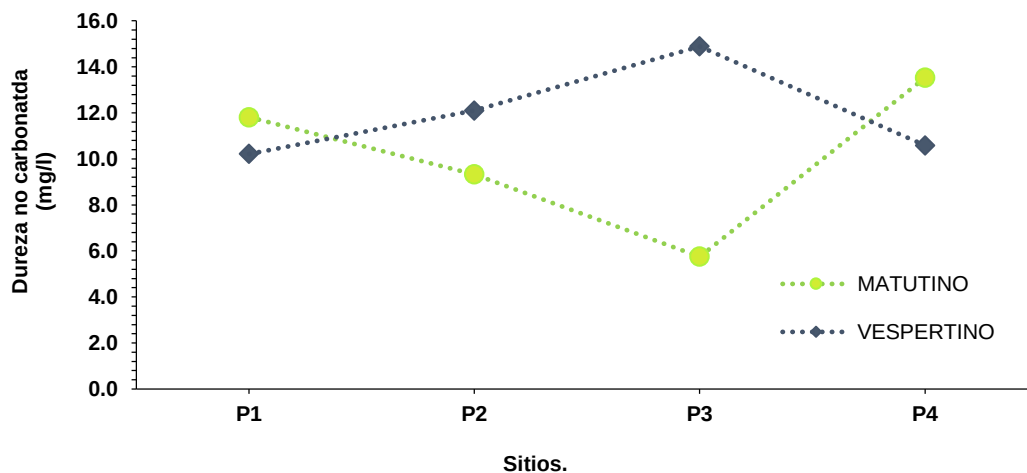
b) Muestreo Noviembre

Figura 5.4: Conductividad eléctrica en los muestreos

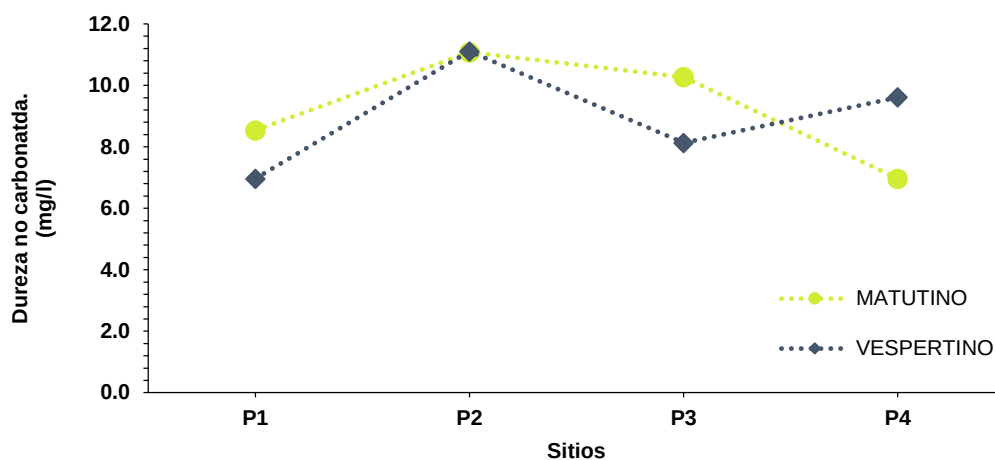
5.2. Parámetros químicos

5.2.1. Dureza no carbonatada

Los resultados obtenidos de dureza no carbonatada (permanente) promedio se encuentran dentro de la clasificación de aguas suaves (figura 5.5 a y b).



a) Muestreo Septiembre



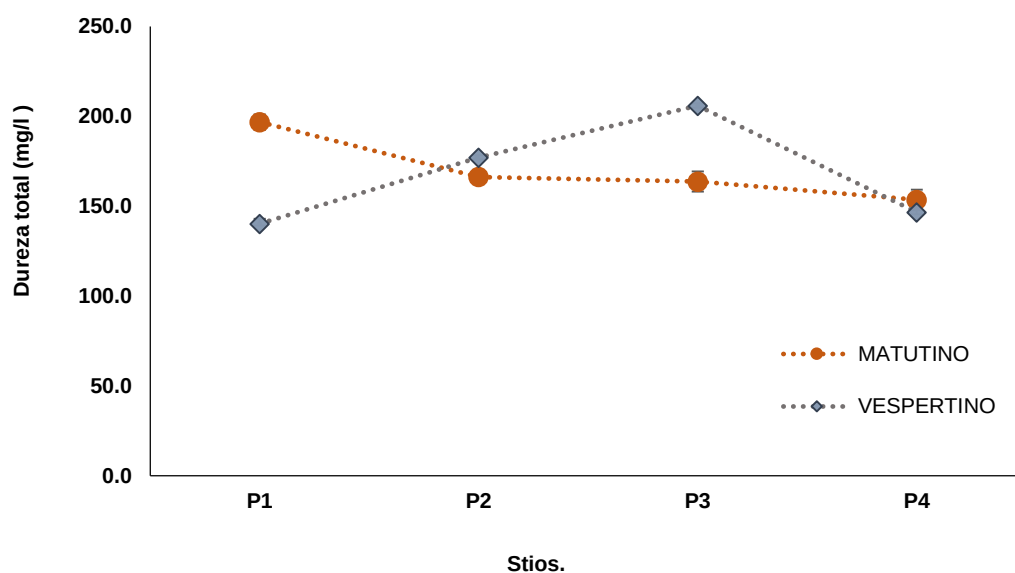
b) Muestreo Noviembre

Figura 5.5: Dureza no carbonatada en los muestreos

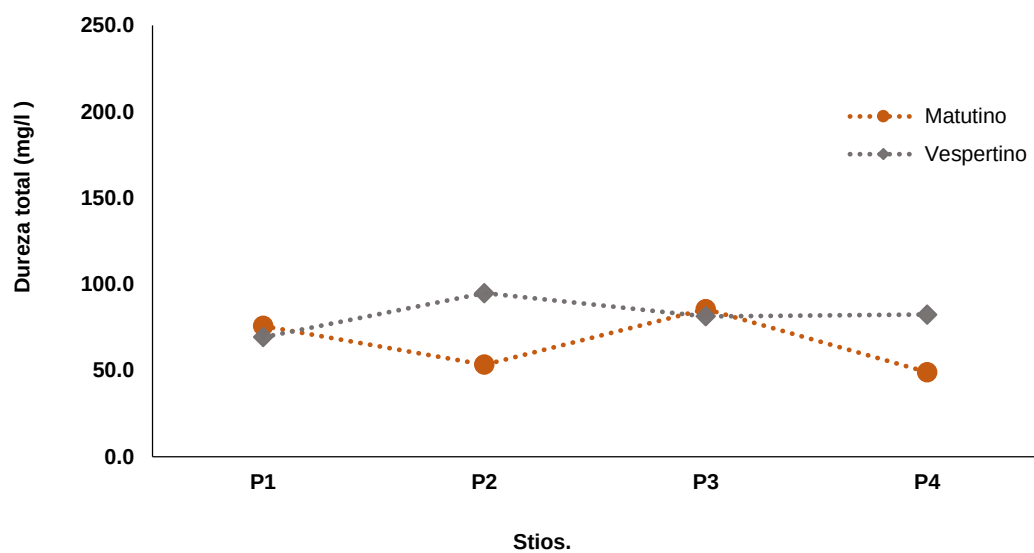
5.2.2. Dureza total

Las concentraciones de dureza total en el muestreo efectuados en el mes de septiembre con respecto al muestreo matutino presentaron concentraciones semejantes bajas, aunque en el punto 1 se observa que inicia con una concentración mayor a los demás puntos, y las concentraciones de los demás puntos disminuyen, en cambio para el turno vespertino el punto 1 y 2 comienzan aumentar las concentraciones ya para el horario noche-tarde se observa una concentración de 147 mg/l CaCO_3 .

En el muestreo de noviembre se observa una la disminución de dureza total, la mayoría de los puntos se encuentra en concentraciones de 110 a 50 m/l de CaCO_3 . Posiblemente se deba a lluvia que se presentó durante la medición.



a) Muestreo Septiembre

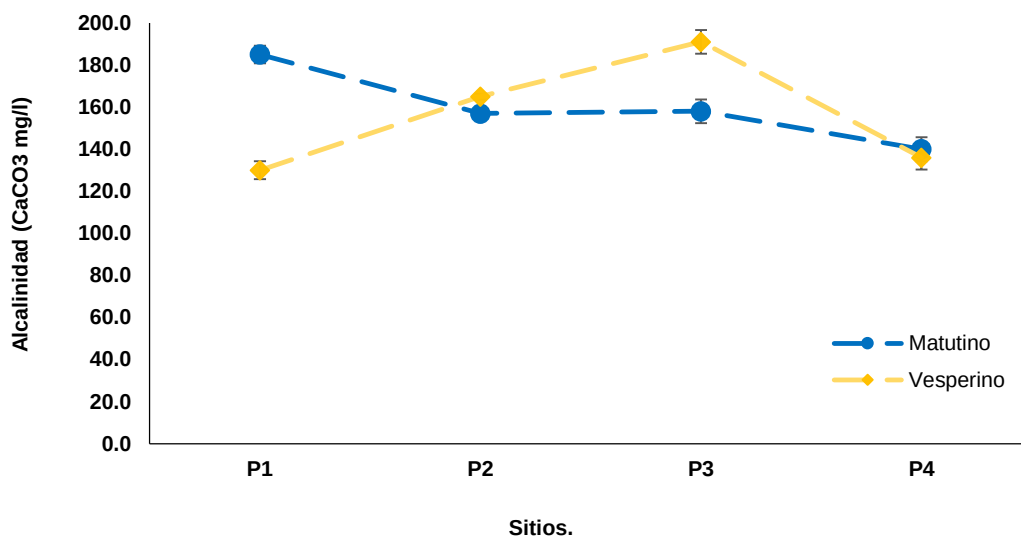


a) Muestreo Noviembre

Figura 5.6: Dureza total en los muestreos

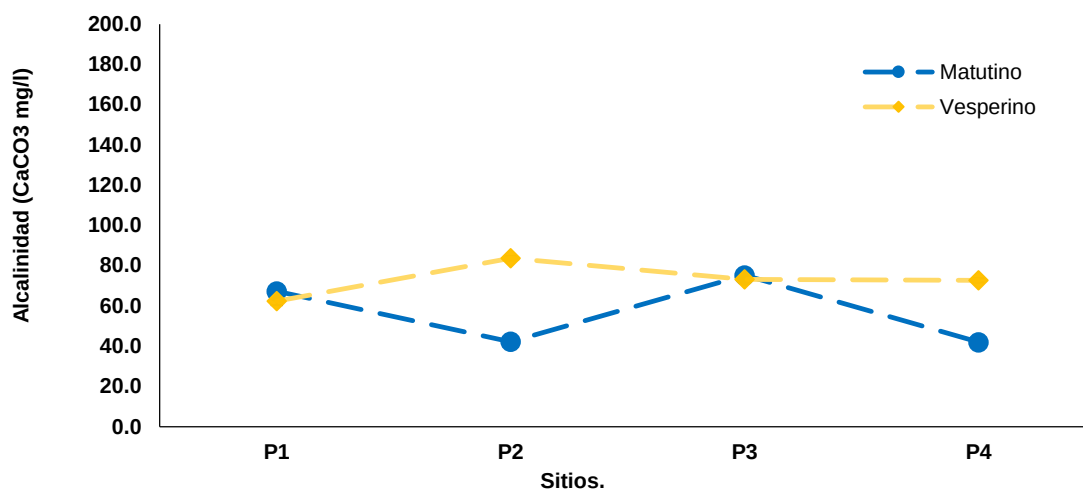
5.2.3. Alcalinidad

La concentración de alcalinidad en función de bicarbonato de calcio (CaCO_3) en los muestreos realizados para los cuatro sitios del río fue determinada como bicarbonatos en función de los valores de pH (6-8.6), donde la concentración más alta para el mes de septiembre fue de (185 mg/l) y para el mes de noviembre fue de (75 mg/l), estos valores se encuentran dentro de los intervalos que determina la norma oficial mexicana (NOM-127-SSA1-1994), que establece que un agua para consumo humano no debe contener más de 500 mg/l CaCO_3 .



75

a) Muestreo Septiembre



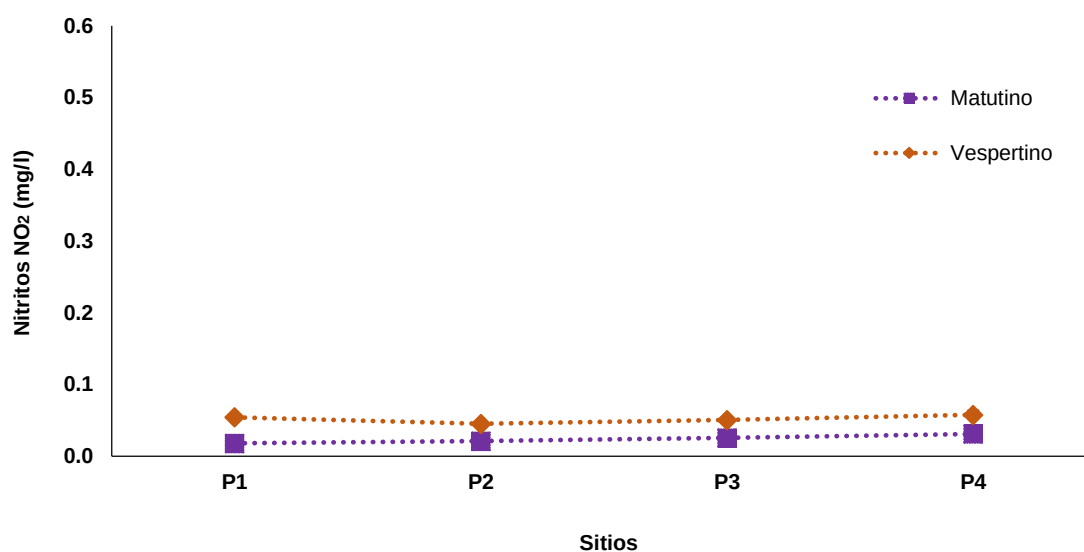
b) Muestreo Septiembre

Figura 5.7: Alcalinidad en los muestreos

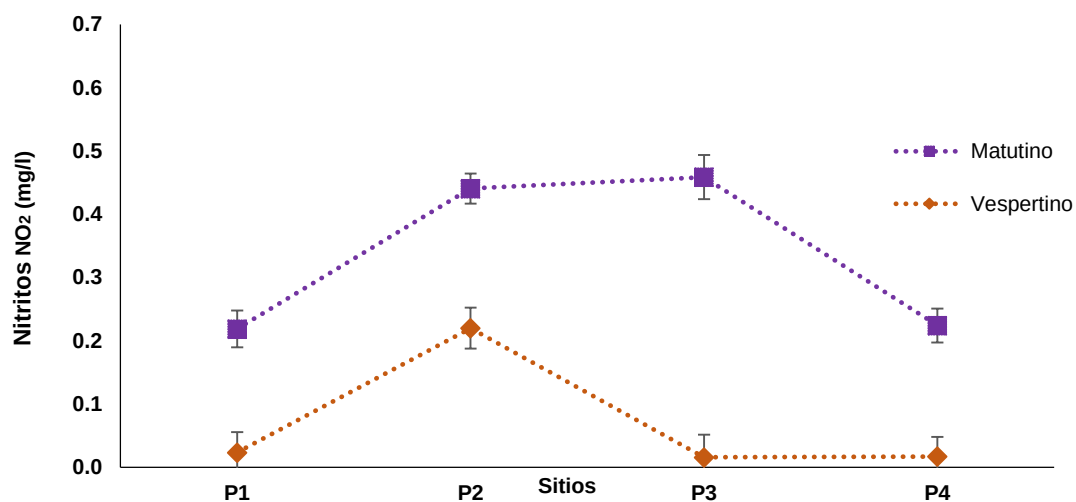
5.2.4. Nitritos

Las concentraciones de nitritos en el muestreo efectuados en el mes de septiembre con respecto al muestreo matutino presentaron concentraciones semejantes a la tarde (0.02 mg/l) (figura 5.8 a). En el muestreo de noviembre se observa un incremento en las concentraciones de este anión para el turno matutino (0.34 mg/l), posiblemente se deba a una contaminación durante la medición, en el turno vespertino se repite el comportamiento determinado para el muestreo de septiembre, es decir las concentraciones son de 0.02 mg/l.

Los resultados de nitritos en ambos muestreos, son cercanos a los límites máximos permitidos de la norma oficial mexicana que menciona que un agua para consumo humano no debe contener más de 0.05 mg/l NOM-127-SSA1-1994.



a) Muestreo Septiembre



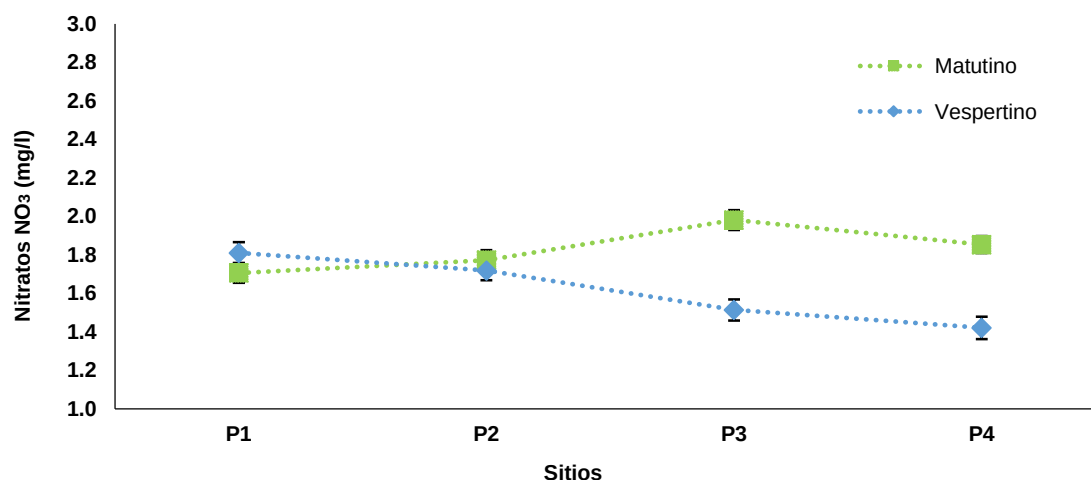
b) Muestreo Noviembre

Figura 5.8: Nitritos en los muestreos

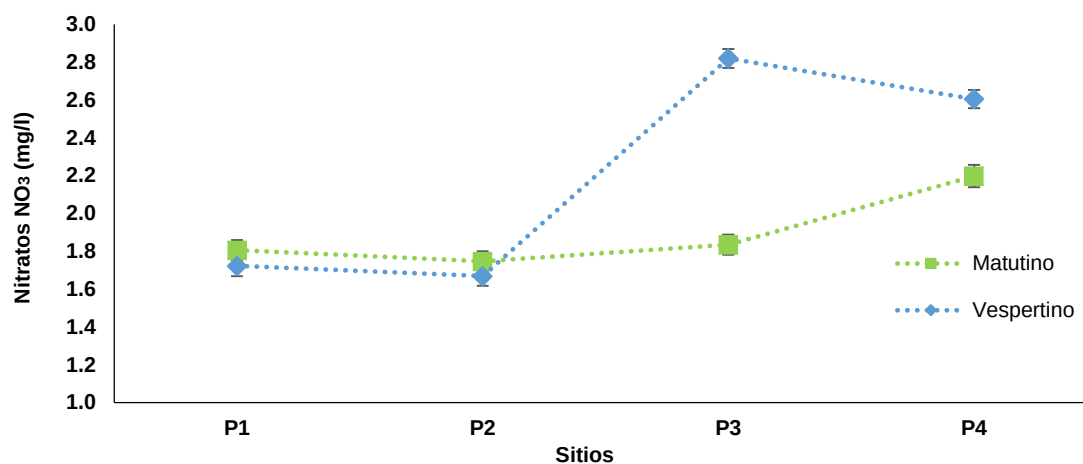
5.2.5. Nitratos

Las concentraciones de nitratos en el muestreo efectuado en el mes de septiembre por la mañana, presentaron concentraciones similares en el punto 1 y 2 (1.7 mg/l), en el punto 3 la concentración aumenta (2 mg/l), esto se puede atribuir a la contribución de algunos sembradíos donde generalmente se utilizan fertilizantes y a una descarga municipal que se encuentra en esa zona; en el punto 4 se tiene una confluencia de otros ríos, los que ocasionan que la concentración disminuya (1.8 mg/l) (figura 5.9). Con respecto al muestreo realizado por la tarde, se determinaron concentraciones más bajas que las de la mañana.

Con respecto al muestreo del mes de noviembre se encontró que el comportamiento fue completamente diferente en relación con el mes de septiembre (figura 5.9 b), puesto que hubo presencia de lluvia, ya que el municipio de Coscomatepec presenta con regularidad precipitación pluvial en los meses de octubre y noviembre, por lo que la concentración de los nitratos resultó ser mayor. Finalmente, los resultados de nitratos en ambos muestreos, no rebasan los límites máximos permitidos de la norma oficial mexicana que menciona que un agua para consumo humano no debe contener más de 10 mg/l NOM-127-SSA1-1994



a) Muestreo Septiembre

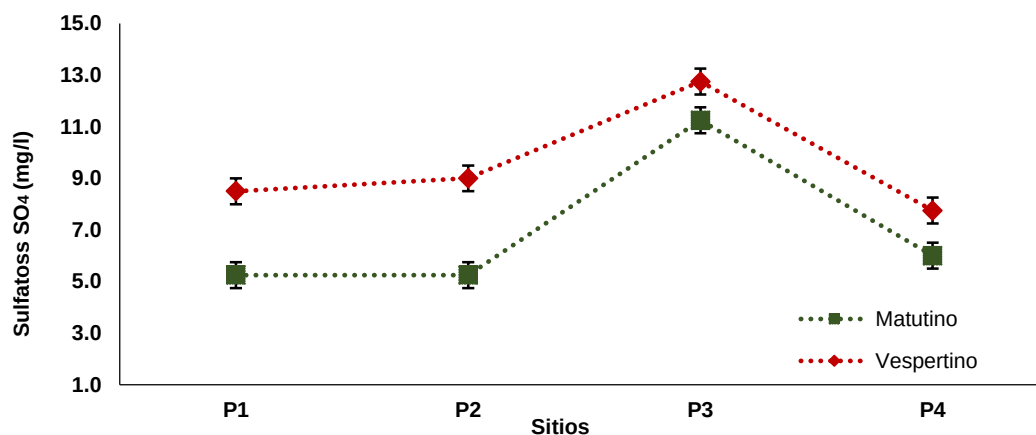


b) Muestreo Noviembre

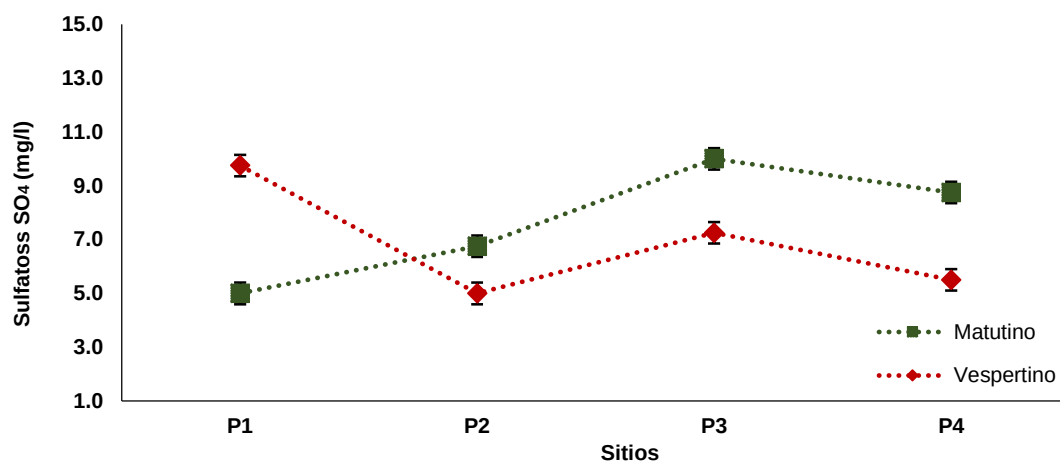
Figura 5.9: Nitratos en los muestreos

5.2.6. Sulfatos

Las concentraciones de sulfatos determinados en ambos muestreos fueron de 15 a 5 mg/l de SO_4 (figura 5.10). Comparando con la norma se tiene que no se rebasan los valores máximos permitidos (300 mg/l).



a) Muestreo Septiembre



b) Muestreo Noviembre

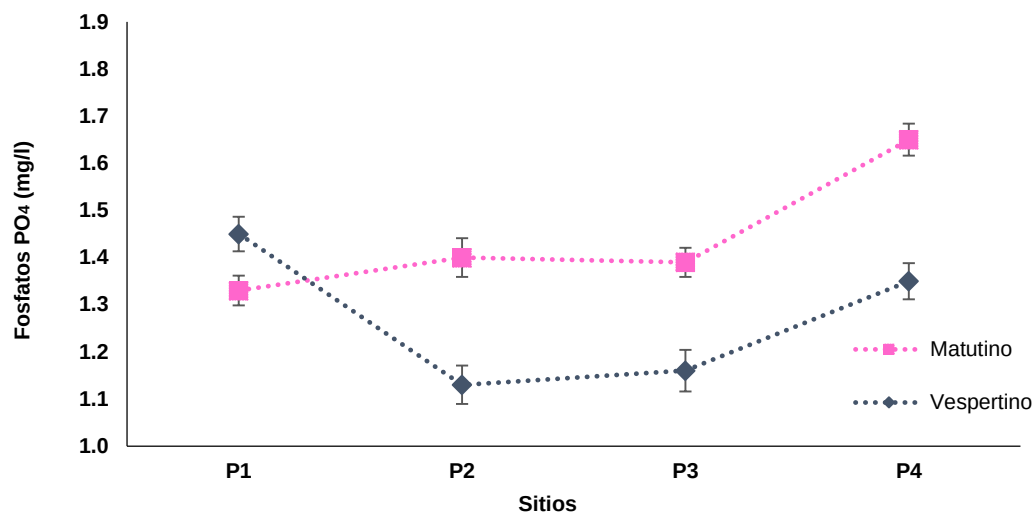
Figura 5.10: Sulfatos en los muestreos

5.2.7. Fosfatos

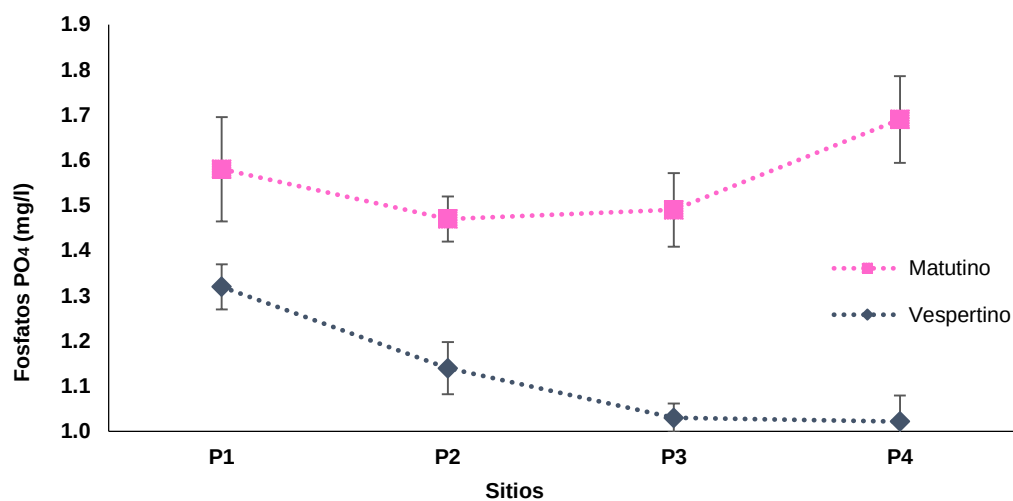
Las concentraciones de Fosfatos en el muestreo de septiembre por la mañana, presentaron concentraciones altas, aunque en el punto 3 (1.39 mg/l) se mantiene constante con respecto al punto 2 (1.40 mg/l), en el muestreo de noviembre (figura 5.10 b), se observa el mismo comportamiento con concentraciones de 1.30 a 1.67 mg/l, las cuales se atribuyen a la posible descargas de aguas negras, drenaje agrícola y ciertos desechos industriales que contienen normalmente concentraciones apreciables de fosfatos.

En el turno vespertino de los muestreos de septiembre y noviembre, se observa la disminución de las concentraciones de fosfatos, que se puede atribuir a la relación de la vida fotosintética del agua.

Este anión resultó no estar dentro de las concentraciones permitidas para consumo humano (0.10 mg/l) (CC-CCA-001/89).



a) Muestreo Septiembre



b) Muestreo Noviembre

Figura 5.11: Fosfatos en los muestreos

5.3. Metales Totales

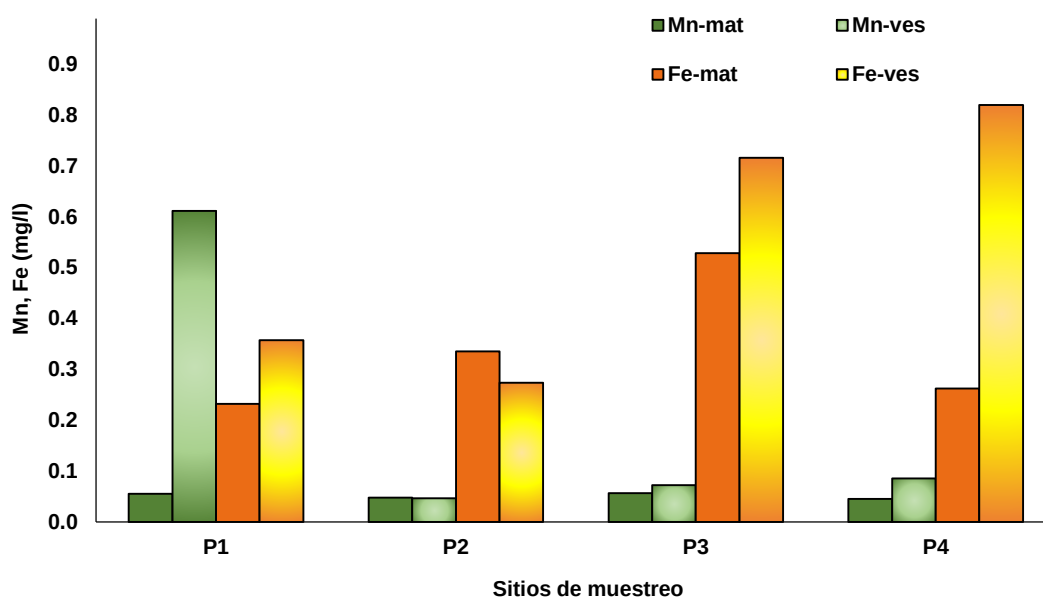
Se analizaron 9 metales totales, de los cuales 3 metales Cr, Pb, Ni se encontraron concentraciones por debajo del límite de detección. En el apéndice 3, se presentan algunos datos estadísticos de las variables evaluados tales como media, la desviación estándar y las concentraciones para la curva de calibración de cada metal total.

5.3.1. Mn y Fe

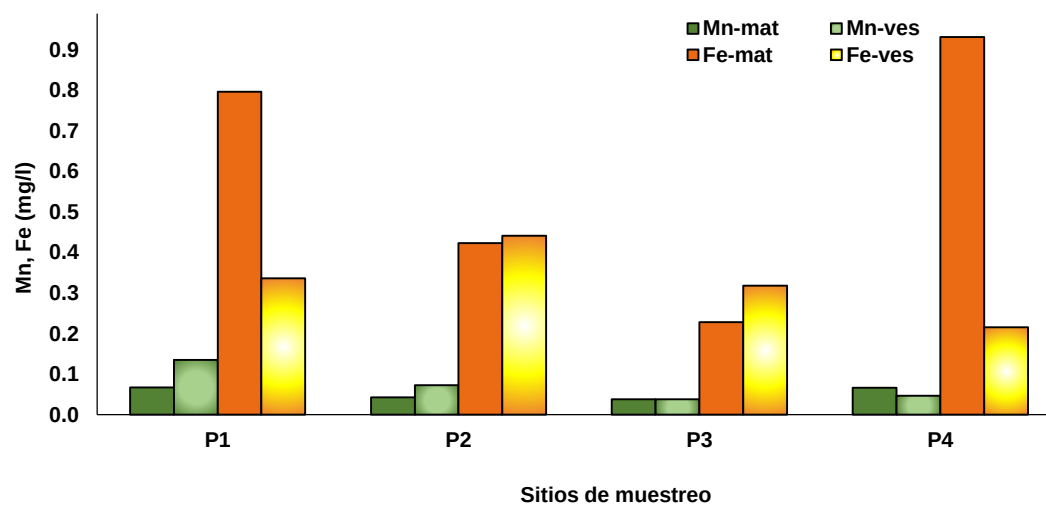
Las concentraciones de Mg en el muestreo efectuado en el mes de septiembre por la mañana, presentaron concentraciones similares en todos los puntos de muestreo con concentraciones de 0.06 mg/l (figura 5.12a), con respecto al muestreo vespertino las concentraciones fueron similares al muestreo matutino, salvo en el punto 1 (0.62 mg/l) rebasando el límite máximo permisible de la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994) que establece un limite de 0.15 mg/l de Mn.

La concentracion de hierro para el muestreo de septiembre y noviembre (matutino y vespertino), estan por encima de los limites permisibles que establece la normal NOM-127-SSA1-1994, la cual establece salud ambiental, agua para uso y consumo humano-limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilizacion, tambien los criterios ecologicos de la calidad del agua la CC-CCA-001/89 establece que la concentración de Fe es de 0.3 mg/l,

En el mes de septiembre en el muestreo vespertino los punto 3 y 4 presentaron las concentraciones de 0.8 mg/l (figura 5.12a). Para el muestreo de noviembre, los puntos con mayor cantidad de hierro fueron los puntos 1 y 4 en el muestreo matutino, este comportamiento es relacionado a la mayor conductividad eléctrica.



a) Muestreo Septiembre



b) Muestreo Noviembre

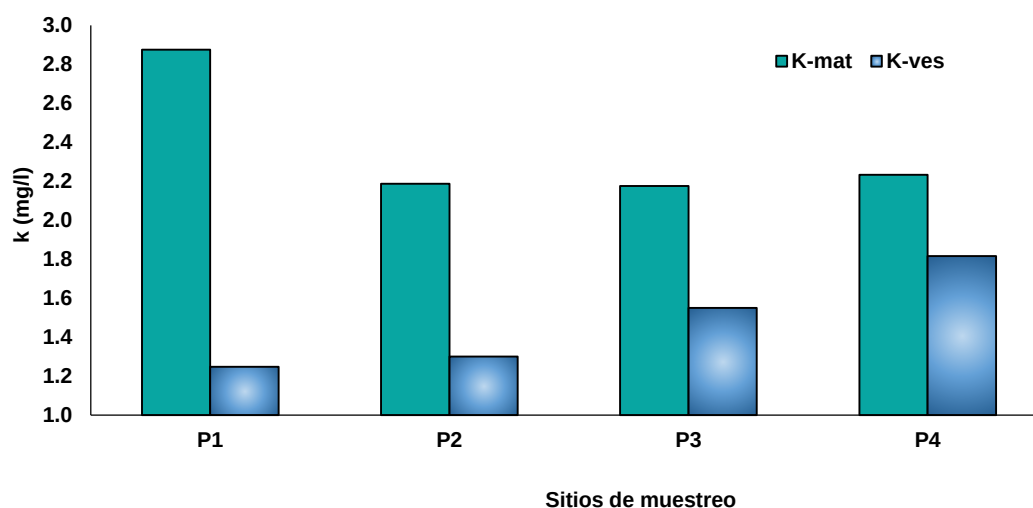
Figura 5.12: Concentraciones de manganeso (Mn) y hierro (Fe) en los muestreos

5.3.2. K

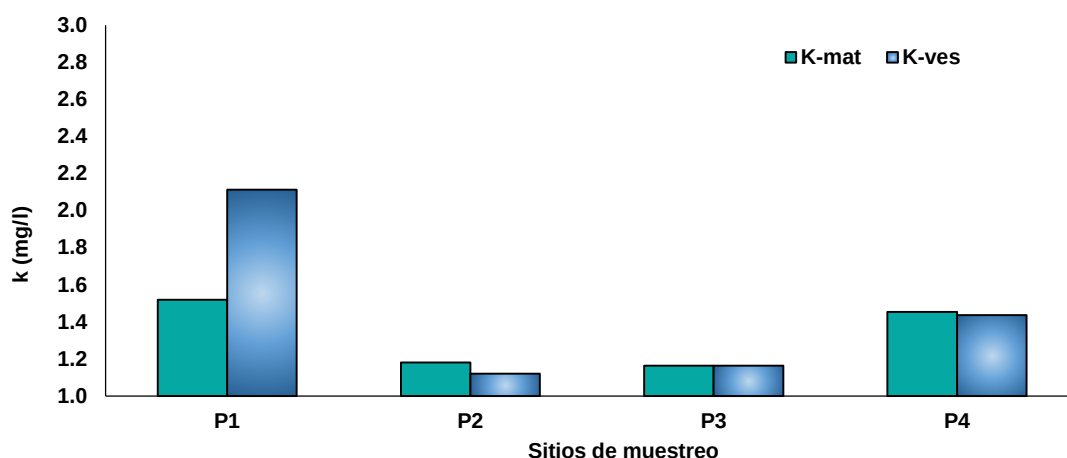
Las concentraciones de Potasio en el muestreo de septiembre muestran que existe más cantidad en la mañana que en la tarde (figura 5.13a).

En el muestreo de noviembre las concentraciones fueron relativamente más bajas si las comparamos con el anterior muestreo, aunque en punto 1 se mantiene con más concentraciones que los demás puntos, a diferencia del anterior muestreo en el turno vespertino se obtuvo una mayor concentración (figura 5.13b).

Aunque este metal no se encuentra normado, es importante tenerlo en cuenta, ya que concentraciones altas indica que existe contaminación de aguas residuales (Barceló, 2000).



a) Muestreo Septiembre



b) Muestreo Noviembre

Figura 5.13: Concentraciones de potasio (K) en los muestreos

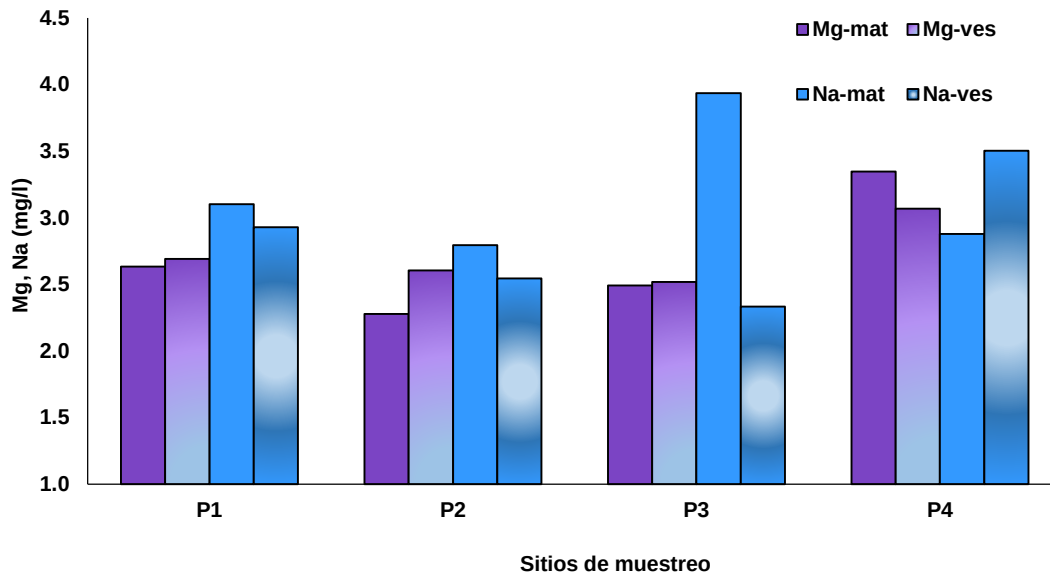
5.3.3. Mg y Na

En el muestreo de septiembre las concentraciones de magnesio y sodio fueron de un intervalo de 2.5 mg/l a 4 mg/l. En la figura 5.14b se observa que el Na incrementa el valor en el sitio 3,

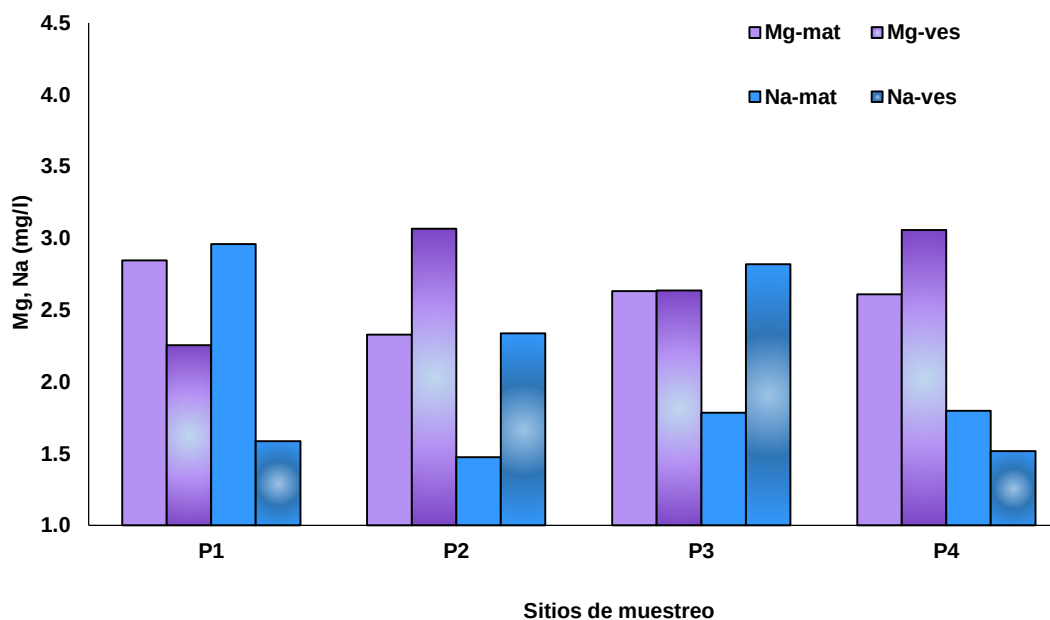
En el muestreo de noviembre las concentraciones de magnesio y sodio fueron similares a las concentraciones de septiembre, con la diferencia que el comportamiento fue desigual, ya que en el muestreo hubo presencia de lluvia (figura 5.14b)

Las concentraciones del metal total de Mg no se encuentran normado, así que estas concentraciones fueron tomadas para determinar dureza temporal y dureza no carbonatada.

El metal sodio está normando por la norma NOM-127-SSA1-1994 que establece que sodio tienen que estar por debajo de 200 mg/l, por lo tanto para ambos metales en el agua no present riesgo alguno.



a) Muestreo Septiembre



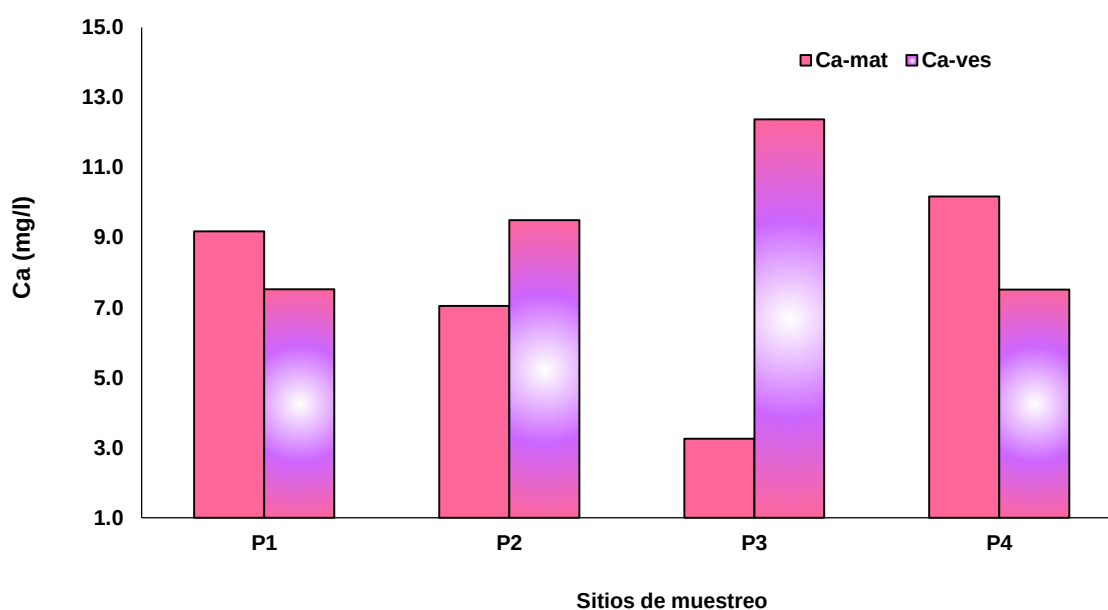
b) Muestreo Noviembre

Figura 5.14: Concentraciones de magnesio (Mg) y sodio (Na) en los muestreos

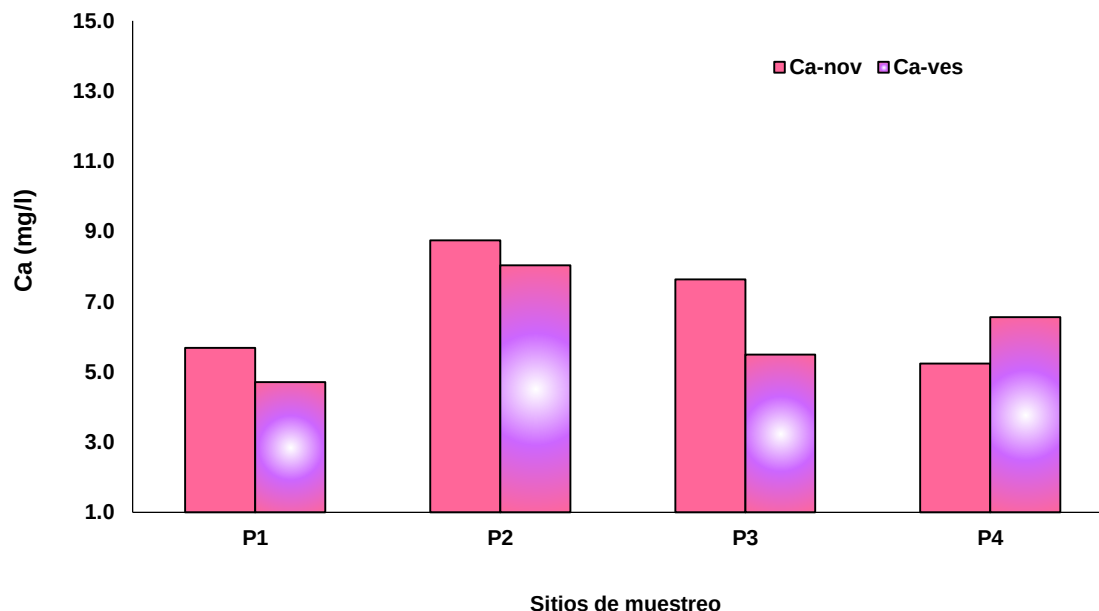
5.3.4. Ca

El calcio del muestro de septiembre en el turno matutino mostró cantidades promedio de 7,6 mg/l, y el muestreo vespertino de 9 mg/l (figura 5.15a). Se observa que las cantidades de calcio incrementan en el turno vespertino.

En el muestreo de noviembre las concentraciones del turno matutino promedio fueron 7 mg/l y el muestreo vespertino presento cantidades de 6.5 mg/l (figura 5.15b).



a) Muestreo Septiembre



b) Muestreo Noviembre

Figura 5.15: Concentraciones de calcio (Ca) en los muestreos

5.4 índices de calidad

De acuerdo a la ecuación de índices de calidad (3.11) los resultados de este estudio demostraron que el muestreo de septiembre obtuvo un valor general de Ica 98 % y el muestreo de noviembre un 93 %.

El agua del río Tlacoapa se encuentra en un intervalo de excelente (ver apéndice 4), en donde el agua no requiere purificación, es soporte para cualquier actividad humana y aceptable para todos los organismos.

CAPÍTULO 6

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Como resultado de este estudio se concluye:

Que los parámetros in situ se encuentran dentro de las normas mexicanas NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-001-ECOL-1996. Considerando los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89, el metal hierro para consumo humano considera que no es apta, ya que rebasa el límite permisible, pero comparándolo para riego agrícola no presenta ningún riesgo.

Por otro lado, el agua del río Tlacoapa es ligeramente alcalina por las concentraciones de bicarbonatos, por la edafología que presenta la región.

Finalmente se concluye que esta agua del río Tlacoapa es apta para riego agrícola, ya que los cálculos de índices de calidad del agua determinaron un intervalo de excelente en ambos turnos del muestreo por lo que puede ser considerada como de agua de buena calidad.

6.2 Recomendaciones

Aunque el río Tlacoapa del municipio de Coscomatepec, no estén dentro del rango contaminadas se recomienda realizar un nuevo diseño experimental con parámetros demanda bioquímica de oxígeno (DQO) demanda química de oxígeno (DBO) así como también sólidos totales, en suspensión y disueltos en agua, así como también determinar parámetros microbiológicos.

Por otro lado, se recomienda realizar lecturas en la espectrofotometría de UV-Visible para los aniones nitritos, sulfatos y fosfatos. Realizar las concentraciones de Ni, Cr y Pb en horno de grafito debido a que se detectó en concentraciones cerca o iguales a los límites de detección en flama.

Seguir con los estudios de los sedimentos del Río Tlacoapa y leer las concentraciones de metales totales como Cr, Ni, Pb. Ya que en el análisis de agua se detectaron concentraciones bajas, y los estudios realizados en sedimentos determinan que existe mayores concentraciones en sedimento que el agua (García, 1998).

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- Allende, A. (1976). *Apuntes Sobre Química del Agua*. . Habana, Cuba.: Ed. I.S.P.J.A.E.
- Almazán. J. M. T., Almazán. J. A., Carreto. P. B. E., Hernández. C. E., Damián. N. A., Almazán. N. A. (2016). *Ecosistemas y sistemas agropecuarios*, 9: 293 - 305.
- APHA American Public Health Association. (2005). Method 4500-NO3- Nitrogen (nitrate). En *Standard Methods for the examination of Water*. Public Health Association 19^a Ed.
- Atlas M. Bartha R. (2002). *Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental*. Madrid: 4 ed.Pearson.
- Betancourt P. J. M., Sánchez D. J. G., Mejía L. L. M., Cantera K. J. R. . (2011). Quality of Superficial Waters in Bahía Málaga Colombian Pacific. *Acta Biológica Colombiana*, 16: 175 - 192.
- Cabrera M. E., H. G. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 1: 88 - 92.
- Can C. A., Ortega E. H., Sánchez B. E. I ., Cruz C. E. (2014). Calidad del agua para riego en la Sierra Norte de Puebla, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5: 77 - 96.

-
- Castro M., Almeida J., Ferrer J., Díaz D. (2014). indicadores de la calidad del agua: evolucion y tendencias a nivel goblal . *Ingeniería ambiental* , 17: 111 - 124.
- Centro nacional de produccion más limpia y tecnologías ambientales . (2004). *Manual ambiental sectorial: Proyecto gestión ambiental en el sector de curtiembres*. Colombia.
- Cole G. A. (1983). *Manual de Limnología*. Hemisferio Sur S.A.: Edición -1988.
- CONABIO. (2011). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.
- Córdova B. H. M., V. P. (2014). Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido traducional y alternativo que se utiliza acomplejantes de de Cromo. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80: 183 - 191.
- Corrales G. A. B., Jacobo C. C. P. (2002). Determinación de especies químicas disueltas de Cd, Cu, Cr y Pb en la presa Jose Antonio Alzate y en la confluencia de sus rios tributarios Lerma, Tejalpa y Temoya. *Tesis de licenciatura en Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa, México*.
- Corredor R. J. (2006). The liquid remainder of the tanneries case study high river basin of the Bogota river. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 16: 14 - 28.
- CSVA. (2005). *Programa Hidráulico Estatal, Consejo*.
- CTPS. (2003). *Guía Técnica de producción más limpia para curtiembres* . Bolivia.
- Domingues J. (2008). En *Cobertura del servicio público de agua en el estado de veracruz* . Colegio de México.
-

- Espinal C. T., Sedeño D. J. E., López L. E. (2013). Evaluación de la calidad del agua en la laguna de Yayira, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas, un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista internacional de contaminación ambiental* , 29: 147 - 163.
- Fernandez. N., Ramirez. A., Solano. F. . (2003). Indices fisicoquimicos de la calidad del agua un estudio comparativo . *Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible*. Colombia : Universidad del Pamplona.
- Flores L. J. S. (1997). Evaluación de la calidad del agua del Río San Juan, en el estado de Nuevo León. *Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autonoma de Nuevo León, México*.
- Flores M. C., Gómez L. A. (2018). Evaluation of Physicochemical Parameters and Heavy Metals in Water and Surface Sediment in the Ilusiones Lagoon, Tabasco, Mexico. *Tecnología y ciencias del Agua*, 1: 2 - 9.
- García A. J. (1998). Diseño de los Diagramas de Tillmans y Mojmir para evaluar la calidad del agua de la presa “José Antonio Álzate”. *Tesis de licenciatura en Química. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa, México*.
- González C. M. C. (1997). Caracterización de las aguas de la cuenca del rio Lerma a traves de metodologica y la construcción de graficos Tillmas, de Langelier y Mojmir Mach. *Tesis de maestria en Quimica. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa, México*.
- González. D. R. P., R. V. (2019). Physicochemical water characterization of La Vega Escondida Lake, Tampico, Tamaulipas,México. *Tecnología y ciencias del agua*, 1: 1-9.
- Greenpeace. (2012). *Cueros Toxicos: Nuevas evidencias de la contaminación de curtiembres en la cuenca de Matanza-Riachuelo*.

-
- Houbrom, E. (2010). Calidad del agua. Veracruz, Mexico. Obtenido de https://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec_veracruzsigloXXI/PatrimonionaturalVeracruz/PatrimonionaturalVeracruz2.pdf.
- Kemmer F. N., C. M. (1982). *Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*, . Nalco Chemical Company. Mc. Graw Hill. .
- Leal A. M. T., Miranda S., Otazo S. E. M., Prieto G. F., Gordillo A. J. (2009). Metals Pollution in el Limon lagoon, Chiapas, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10: 415 - 421.
- Ley de Aguas Nacionales. (DOF 24-03-2016). *Ley de Aguas Nacionales*. Obtenido de Cámara de diputados del H. Congreso de la unión : http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf
- Mancilla V. O. R., Ortega E. H. M., Ramírez A. C., Uscanda M. E., Ramos B. R., Reyes O. A. L. (2012). Metales pesados totales y Arsénico en el agua para Riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación Ambienta*l , 28: 39 - 48.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. (s.f.). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. (s.f.). Que establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados, en todo el territorio nacional.
- Ontiveros C. R. E., Diakite D. L., Álvarez S. M. E., Coras M. P. M. (2013). Evaluación de aguas residuales de la ciudad de México utilizadas para riego. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4: 127 - 140.
-

-
- Orozco C., Pérez, A., Gonzáles M. N., Rodríguez. (2005). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química*. 3ª Ed. Thomson.
- Pacheco A. J., R. P. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Revista Académica Ingeniería*, 6: 73- 81.
- Pérez I. J., Nardini G. A., Galindo A. A. (2018). Análisis comparativo de índices de calidad del Agua aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Información Tecnológica*, 29: 47 - 58.
- Pérez S. S. M. (2004). *Introducción a la química y al ambiente*. 1ª ed. Publicaciones cultural.
- Plan municipal de desarrollo. (2018). H. Ayuntamiento constitucional de coscomatepec, Ver.
- Quintana M. R. M., Espinoza P. J. R., Frescas M. A. D., Carmelo Pinedo Á. C. (2015). The importance of assessing water quality in Laguna Bustillos, Chihuahua, Mexico. *Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 6:187 - 203.
- Rubio A. H. O., Ortiz D. R. C., Quintana M. R. M., Saucedo T. R. A., Ochoa R. J M., Rey B. N. I. (2014). Water quality index (WQI) in the dam La Boquilla in Chihuahua, Mexico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2: 139 - 150.
- Samboni R. N. E., Carvajal E. Y., Escobar J. C. (2007). A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *Revista de Ingeniería e investigación*, 03: 172 - 181.
- Torres B. B., González L. G., Rustrían P. E., Houbron E. (2013). Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Revista Internacional de contaminación ambiental*, 29: 135 - 146.
-

- Vidriales C. G., Fuentes M. A. (2016). *calidad del agua en Xalapa y la cuenca del río Pixquac*. Obtenido de <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/calidadaguaxalapacuencariopixquiac/>
- Villanueva F. S., Botello V. A. . (1992). Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe mexicano: Una revisión. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 8: 47 - 61.
- Yogendra k. Puttaiah E. T. (2008). Determination of water quality index and sustainability of an urban waterbody in Shimoga Town, Karnataka. *En M. Sengupta & R. Dalwani (Eds.), Taal2007: The 12th world lake conference*, (págs. 342-346). Jaipur, India: Ministry of Environment and Forests, Government of India.

APÉNDICES

Apéndice 1

1.1. Parámetros físicos

Tabla 1.1. Análisis físicos (In situ) de las muestras de agua en el río Tlacoapa, Coscomatepec, ver.

Muestreo-Septiembre-Matutino					
Sitios	T (°C)	pH	CE (μS/cm)	OD (mg/l)	Prof. (cm)
P1	16.4 ± 0.058	7.6 ± 0.263	90 ± 1.63	8.59	25
P2	16.3 ± 0.082	7.2 ± 0.191	157 ± 0.22	8.44	35
P3	16.8 ± 0.096	7.3 ± 0.173	170.25 ± 0.46	8.01	40
P4	17.1 ± 0.15	7.4 ± 0.369	146.5 ± 0.07	8.03	40

Muestreo-Septiembre-Vespertino					
Sitios	T (°C)	pH	CE (μS/cm)	OD (mg/l)	Prof (cm)
P1	17.5 ± 0.058	8.5 ± 0.126	119.5 ± 0.32	7.21	25
P2	17.4 ± 0.082	8.5 ± 0.216	134.5 ± 0.87	6.22	35
P3	17.1 ± 0.082	8.5 ± 0.206	153.5 ± 0.52	7.56	40
P4	16.8 ± 0.058	8.5 ± 0.126	150 ± 0.21	7.09	40

Muestreo-Noviembre-Matutino					
Sitios	T (°C)	pH	CE (μS/cm)	OD (mg/l)	Prof (cm)
P1	18 ± 0.058	6.5 ± 0.5	145 ± 0.816	6.7	20
P2	17.7 ± 0.05	6.4 ± 0.068	160.7 ± 0.263	8.1	35
P3	17.8 ± 0.129	6.4 ± 0.267	150.7 ± 0.289	8.06	40
P4	17.4 ± 0.33	6.4 ± 0.299	95.5 ± 0.852	7.88	40

Muestreo-Noviembre-Vespertino					
Sitios	T (°C)	pH	CE (μS/cm)	OD (mg/l)	Prof (cm)
P1	17.3 ± 0.222	6.4 ± 0.163	152 ± 0.797	7.86	35
P2	16 ± 0.216	6.4 ± 0.268	48.7 ± 0.583	8.08	40
P3	16 ± 0.369	6.5 ± 0.131	142.4 ± 0.45	8.56	50
P4	16 ± 0.263	6.4 ± 0.331	126.6 ± 0.618	8.8	50

Apéndice 2

2.1 PARÁMETROS QUÍMICOS

Tabla 2.1. Dureza no carbonatada (Permanente), alcalinidad y Dureza total de las muestras de agua en el río Tlacoapa, Coscomatepec, Ver.

Dureza no carbonatada (mg/l) Septiembre		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	11.813 ± 0.193	10.219 ± 0.407
P2	9.327 ± 1.860	12.101 ± 0.354
P3	5.750 ± 0.055	14.893 ± 0.095
P4	13.526 ± 0.058	10.588 ± 0.745

Dureza no carbonatada (mg/l) Noviembre		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	8.534 ± 0.084	6.965 ± 0.969
P2	11.075 ± 0.327	11.107 ± 0.027
P3	10.268 ± 0.295	8.131 ± 0.025
P4	6.965 ± 0.107	9.615 ± 0.549

Alcalinidad (mg/l de CaCO ₃) Septiembre		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	185 ± 4.243	130 ± 2.828
P2	157 ± 1.414	165 ± 1.414
P3	158 ± 5.657	191 ± 1.414
P4	140 ± 5.657	136 ± 5.657

Alcalinidad (mg/l de CaCO ₃) Noviembre		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	67.25 ± 1.061	62.40 ± 1.980
P2	42.25 ± 0.354	83.75 ± 1.061
P3	75.25 ± 0.354	73.25 ± 0.354
P4	42.00 ± 1.414	72.75 ± 1.061

Dureza total (mg/l) Septiembre		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	196.813	140.219
P2	166.327	177.101
P3	163.750	205.893
P4	153.526	146.588

Dureza total (mg/l) Noviembre		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	75.784	69.365
P2	53.325	94.857
P3	85.518	81.381
P4	48.965	82.365

Tabla 2.2. Concentraciones de aniones (NO₂, NO₃, SO₄ Y PO₄) en el muestreo de aguas en el Río Tlacoapa, Coscomatepec, Ver.

Determinación de Nitritos-Septiembre (mg/l)		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	0.02 ± 0.003	0.05 ± 0.002
P2	0.02 ± 0.003	0.05 ± 0.003
P3	0.03 ± 0.004	0.05 ± 0.004
P4	0.03 ± 0.003	0.06 ± 0.006

Determinación de Nitritos-Noviembre (mg/l)		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	0.22 ± 0.029	0.02 ± 0.032
P2	0.44 ± 0.024	0.22 ± 0.032
P3	0.46 ± 0.035	0.02 ± 0.036
P4	0.22 ± 0.027	0.02 ± 0.031

Determinación de Nitratos-Septiembre (mg/l)		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	1.71 ± 0.052	1.81 ± 0.057
P2	1.77 ± 0.051	1.72 ± 0.051
P3	1.98 ± 0.051	1.51 ± 0.054
P4	1.85 ± 0.044	1.42 ± 0.058

Determinación de Nitratos-Noviembre (mg/l)		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	1.81 ± 0.053	1.72 ± 0.055
P2	1.75 ± 0.054	1.67 ± 0.051
P3	1.83 ± 0.054	2.82 ± 0.050
P4	2.20 ± 0.059	2.61 ± 0.048

Determinación de sulfatos-Septiembre (mg/l)		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	5.25 ± 1.058	8.50 ± 0.932
P2	5.25 ± 1.093	9.00 ± 0.976
P3	11.25 ± 1.500	12.75 ± 1.217
P4	6.00 ± 1.114	7.75 ± 1.630

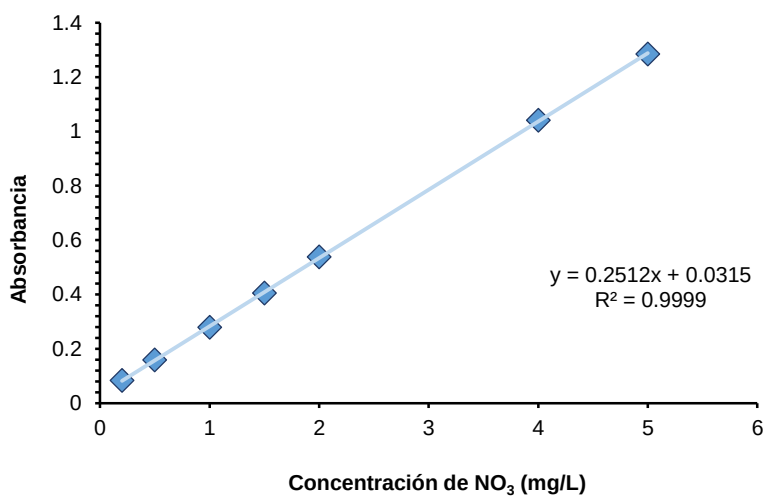
Determinación de Sulfatos-Noviembre (mg/l)		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	5.00 ± 1.014	9.75 ± 0.957
P2	6.75 ± 0.957	5.00 ± 1.014
P3	10.00 ± 1.014	7.25 ± 1.258
P4	8.75 ± 0.957	5.50 ± 0.577

Determinación de Fosfatos-Septiembre (mg/l)		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	1.33 ± 0.032	1.45 ± 0.037
P2	1.40 ± 0.041	1.13 ± 0.041
P3	1.39 ± 0.031	1.16 ± 0.044
P4	1.65 ± 0.034	1.35 ± 0.038

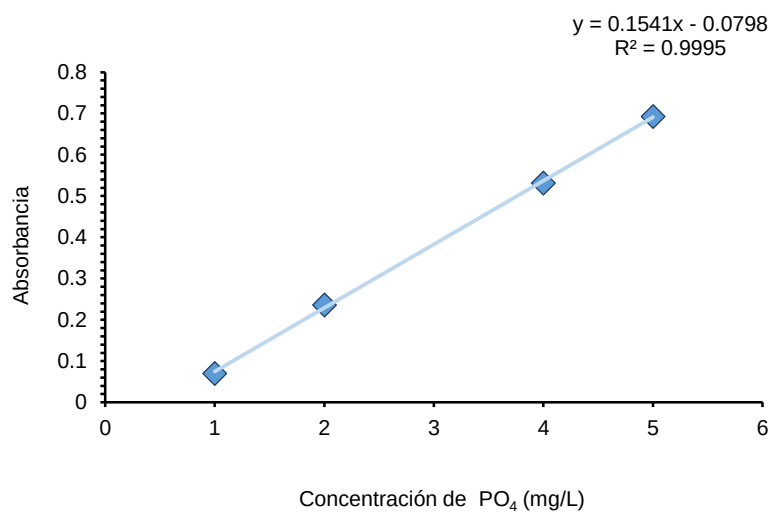
Determinación de Fosfatos-Noviembre (mg/l)		
Sitios	Matutino	Vespertino
P1	1.56 ± 0.115	1.30 ± 0.050
P2	1.45 ± 0.050	1.12 ± 0.058
P3	1.47 ± 0.082	1.01 ± 0.032
P4	1.67 ± 0.096	1.00 ± 0.058

Figura 1.2 Curvas de calibración de nitratos y fosfatos

NO ₃	
CONC (mg/L)	ABS.
0.2	0.083
0.5	0.158
1	0.279
1.5	0.405
2	0.538
4	1.041
5	1.284



PO ₄	
CONC (mg/L)	ABS.
1	0.07
2	0.236
4	0.531
5	0.693



Apéndice 3

3.1. Metales totales en agua.

Tabla 3.1. Concentraciones de Metales Totales en el muestreo de agua en el Río Tlacoapa.

Concentraciones de metales totales (mg/l)-Septiembre-matutino						
Sitios	Mn	Fe	K	Mg	Na	Ca
P1	0.07 ± 0.0002	0.24 ± 0.0015	3.88 ± 0.0022	2.63 ± 0.0012	3.10 ± 0.0001	9.18 ± 0.0005
P2	0.06 ± 0.0001	0.35 ± 0.0047	1.19 ± 0.0063	2.28 ± 0.0048	2.80 ± 0.0001	7.05 ± 0.0034
P3	0.07 ± 0.0007	0.54 ± 0.0054	1.18 ± 0.0017	2.49 ± 0.0056	3.94 ± 0.0002	3.26 ± 0.0010
P4	0.06 ± 0.0001	0.27 ± 0.0008	1.23 ± 0.0158	3.35 ± 0.0014	2.88 ± 0.0003	10.18 ± 0.0003
concentraciones de metales totales (mg/l)-Septiembre-vespertino						
Sitios	Mn	Fe	K	Mg	Na	Ca
P1	0.62 ± 0.0001	0.37 ± 0.0001	1.25 ± 0.0163	2.69 ± 0.0004	2.93 ± 0.0008	7.53 ± 0.0007
P2	0.06 ± 0.0001	0.28 ± 0.0017	1.20 ± 0.0029	2.60 ± 0.0010	2.55 ± 0.0006	9.50 ± 0.0007
P3	0.08 ± 0.0002	0.73 ± 0.0009	1.15 ± 0.0024	2.52 ± 0.0008	2.33 ± 0.0002	12.37 ± 0.0002
P4	0.10 ± 0.0002	0.83 ± 0.0063	0.82 ± 0.2055	3.07 ± 0.0005	3.50 ± 0.0005	7.52 ± 0.0012

Concentraciones de metales totales (mg/l)-Noviembre-matutino						
Sitios	Mn	Fe	K	Mg	Na	Ca
P1	0.08 ± 0.0095	0.81 ± 0.0095	1.52 ± 0.0027	2.85 ± 0.0007	2.96 ± 0.0007	5.69 ± 0.0002
P2	0.05 ± 0.0113	0.43 ± 0.0004	1.02 ± 0.0059	2.33 ± 0.0008	1.48 ± 0.0008	8.75 ± 0.0005
P3	0.05 ± 0.0017	0.24 ± 0.0008	1.16 ± 0.0118	2.63 ± 0.0017	1.78 ± 0.0001	7.64 ± 0.0003
P4	0.08 ± 0.0017	0.94 ± 0.0038	1.05 ± 0.0125	2.61 ± 0.0017	0.80 ± 0.0001	0.24 ± 0.0002

Concentraciones de metales totales (mg/l)-Noviembre-vespertino						
Sitios	Mn	Fe	K	Mg	Na	Ca
P1	0.15 ± 0.0010	0.35 ± 0.0007	2.11 ± 0.0018	2.26 ± 0.0010	1.59 ± 0.0013	4.71 ± 0.0014
P2	0.08 ± 0.0006	1.45 ± 0.0353	1.12 ± 0.0223	3.07 ± 0.0006	2.34 ± 0.0010	8.04 ± 0.0002
P3	0.05 ± 0.0012	0.33 ± 0.0019	1.16 ± 0.0030	2.64 ± 0.0012	0.82 ± 0.0002	5.50 ± 0.0004
P4	0.06 ± 0.0004	0.23 ± 0.0010	1.44 ± 0.0012	3.06 ± 0.0004	1.52 ± 0.0007	6.56 ± 0.0008

Tabla 3.2. Parámetros para las determinaciones de metales totales en absorción atómica.

Metal t	Long. Onda (λ)	L. D.*	A. M. (mm)*	F. C.* (l/min)	Bandpass (nm)	Tipo Llama:
Cr	357.9	0.05	5.4	4.5	0.5	Aire-C ₂ H ₂ -N ₂ O
Pb	217	0.07	9.4	1.1	0.5	Aire- C ₂ H ₂
Ni	330.2		6.2	0.9	0.2	Aire- C ₂ H ₂
Mn	279.5	0.2	11.8	1.1	0.2	Aire- C ₂ H ₂
Fe	248.3	0.05	7.8	1	0.2	Aire- C ₂ H ₂
K	766.5		7	0.9	0.5	Aire- C ₂ H ₂
Mg	202.6	0.03	11.8	1.1	0.5	Aire- C ₂ H ₂
Na	330.2	0.004	6.2	0.9	0.2	Aire- C ₂ H ₂
Ca	239.9	0.009	6.2	4.5	0.5	Aire- C ₂ H ₂

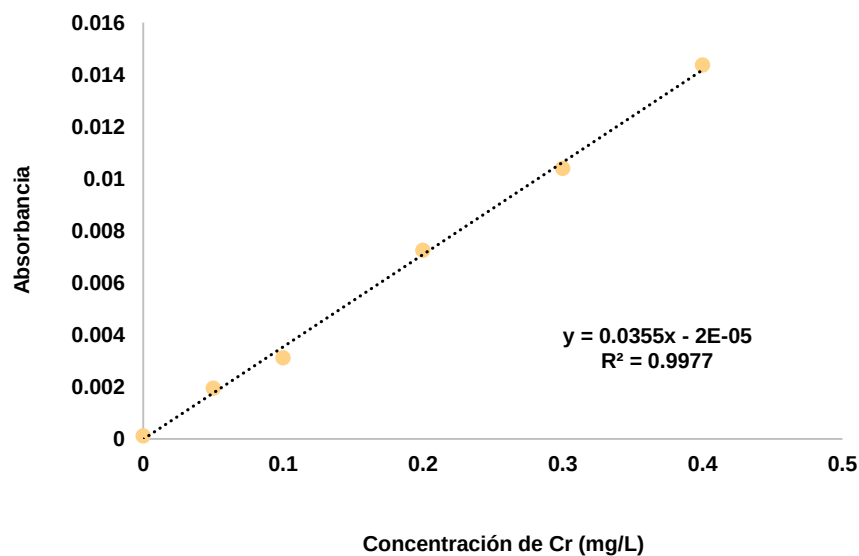
*

F. C. Flujo de combustible

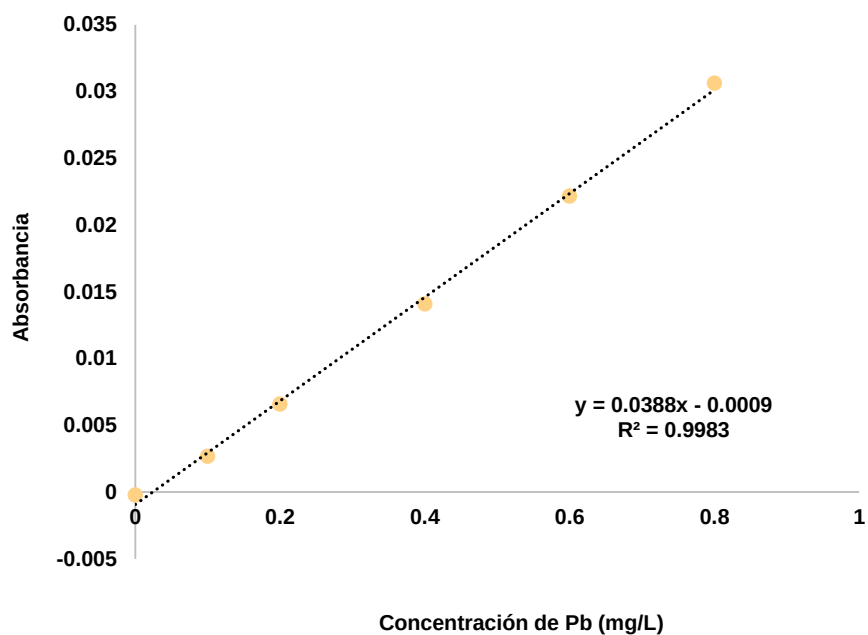
A. M Altura del mechero

L. D. Límite de detección

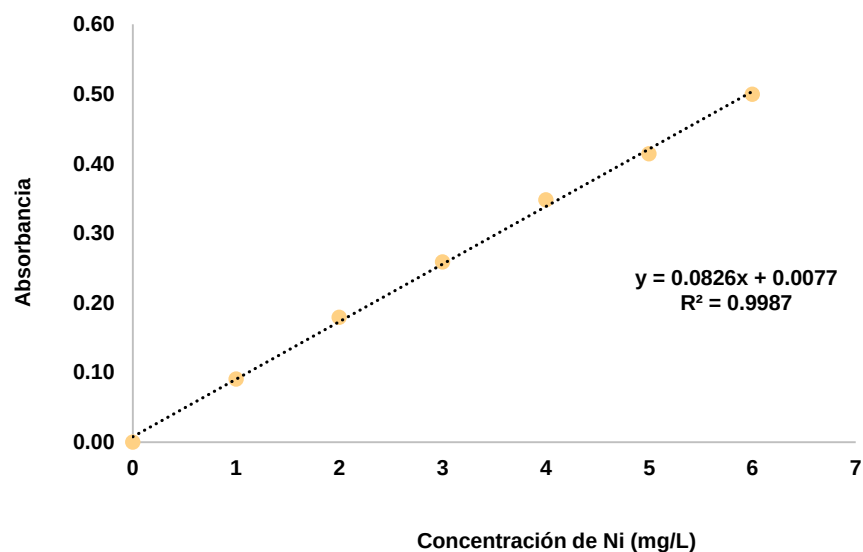
Figura 1.4: curva de calibración de los metales totales



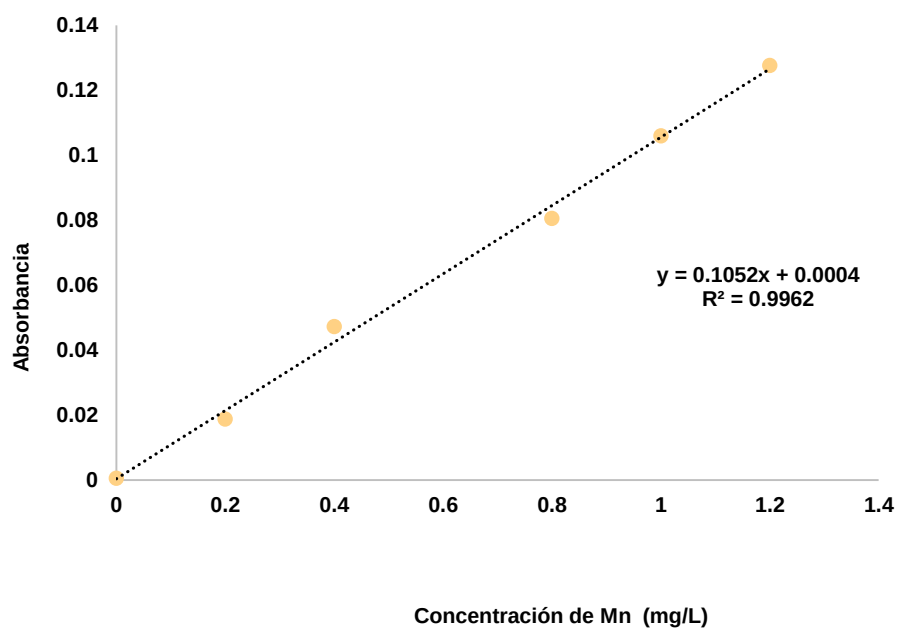
Cr	
Conc. (mg/l)	Abs
0	0.0001
0.05	0.0019
0.1	0.0031
0.2	0.0072
0.3	0.0104
0.4	0.0144



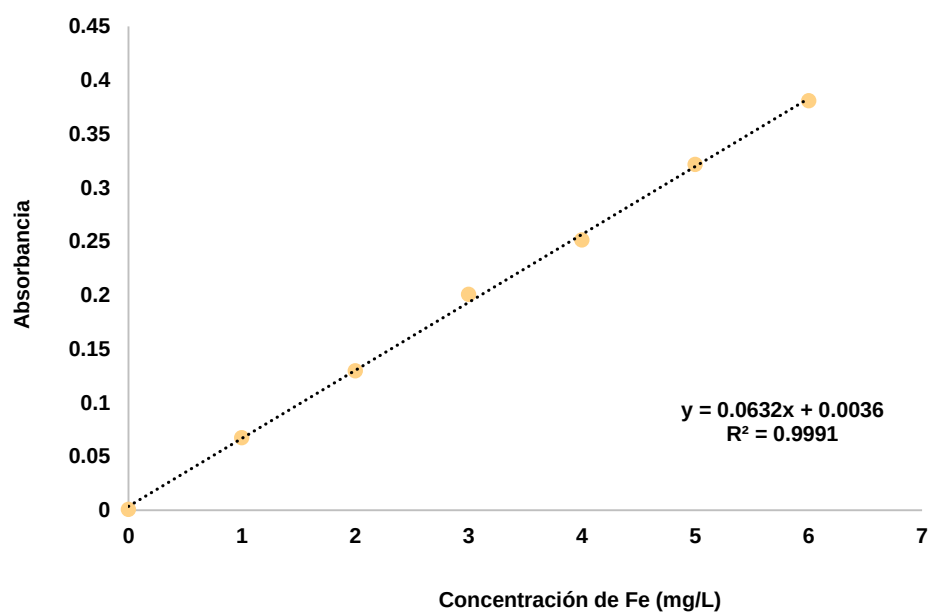
Pb	
Conc. (mg/l)	Abs
0	0.0000
0.1	0.0027
0.2	0.0066
0.4	0.0141
0.6	0.0222
0.8	0.0306



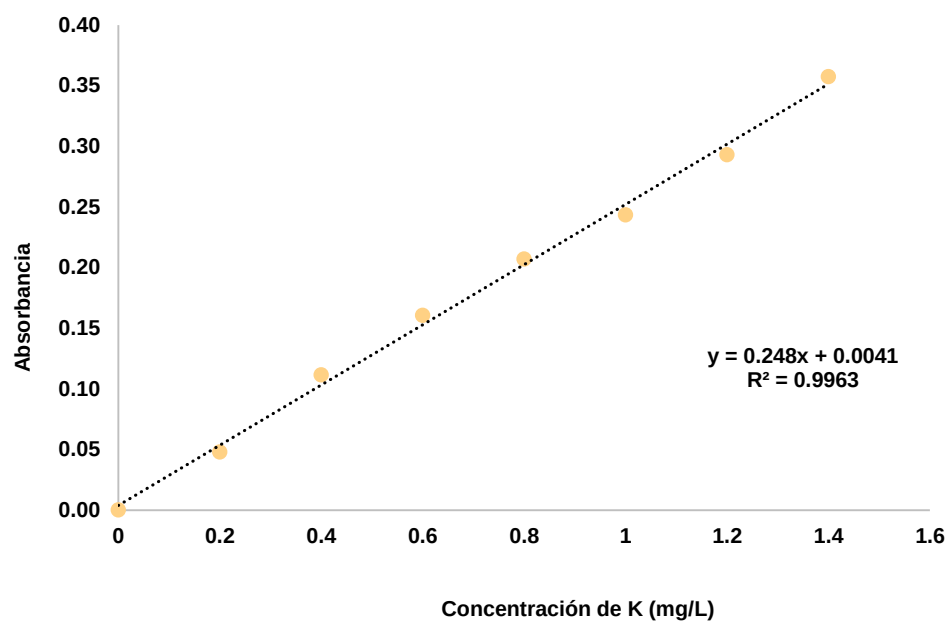
Ni	
Conc. (mg/l)	Abs
0	0.00
1	0.09
2	0.18
3	0.26
4	0.35
5	0.41
6	0.50



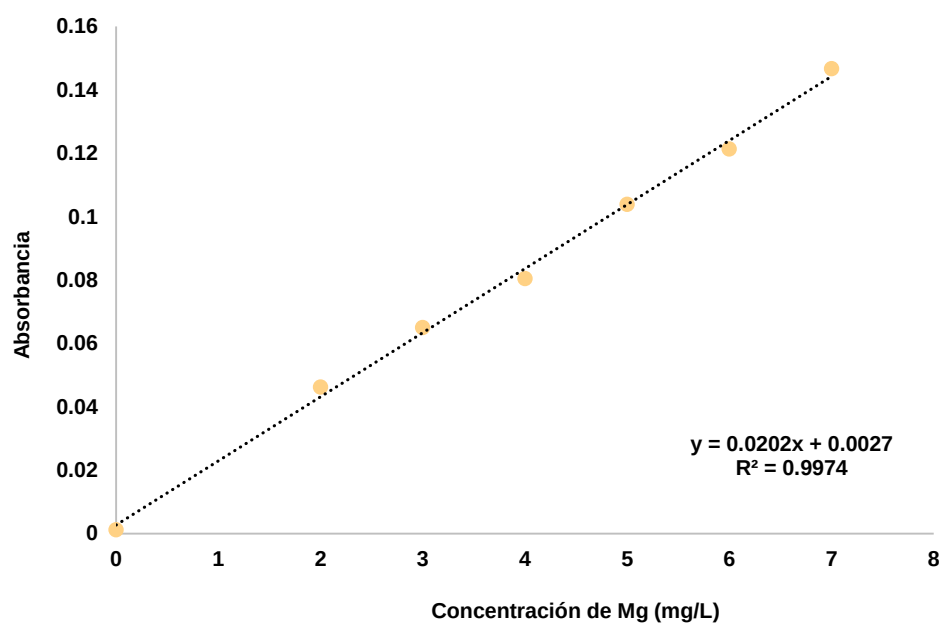
Mn	
Conc. (mg/l)	Abs
0	0.0006
0.2	0.0188
0.4	0.0473
0.8	0.0806
1	0.1060
1.2	0.1277



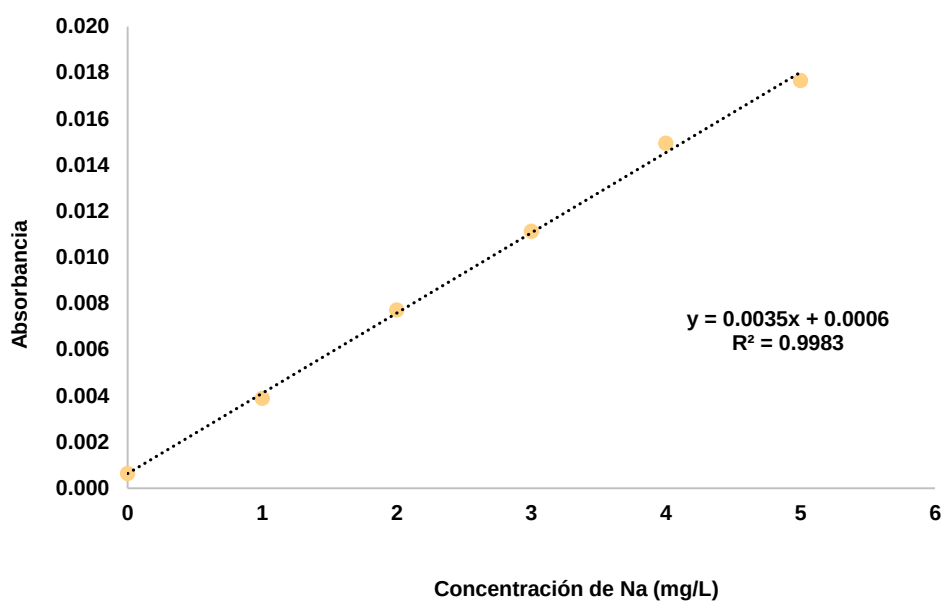
Fe	
Conc. (mg/l)	Abs
0	0.0008
1	0.0675
2	0.1299
3	0.2008
4	0.2514
5	0.3216
6	0.3810



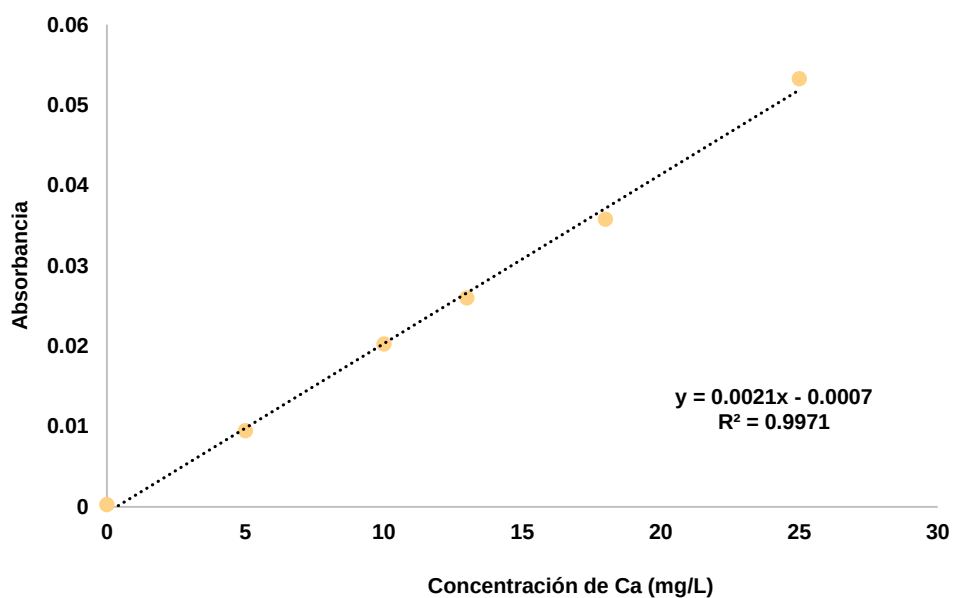
K	
Conc. (mg/l)	Abs
0	0.0005
0.2	0.0480
0.4	0.1116
0.6	0.1607
0.8	0.2071
1	0.2436
1.2	0.2931
1.4	0.3575



Mg	
Conc. (mg/l)	Abs
0	0.001
2	0.046
3	0.065
4	0.080
5	0.104
6	0.121
7	0.147



Na	
Conc. (mg/l)	Abs
0	0.0006
1	0.0039
2	0.0077
3	0.0111
4	0.0149
5	0.0177



Ca	
Conc. (mg/l)	Abs
0	0.0003
5	0.0095
10	0.0203
13	0.0260
18	0.0358
25	0.0533

Apéndice 4

4.1 resultados de índices de calidad del agua en el Río Tlacoapa.

Tabla 4.1. Índice de calidad del agua

Tabla de Datos Tabulados y Calculo del ICA -septiembre				
RESULTADOS	Peso General	Indicadores	Indicadores considerados	I*W
PH	4	78	4.00	313.60
OD	4	81	2.00	322.96
C.E-	1	83	1.00	82.95
Alcalinidad	2	41	2.00	81.92
No3	3	100	1.00	300.00
Po4	1	30	1.00	29.70
Dureza total	1	48	1.00	48.05
PESO TOTAL	16	461	12.00	1179.18
ICA GLOBAL = 98				

Tabla de Datos Tabulados y Calculo del ICA - noviembre				
RESULTADOS	Peso General	Indicadores	Indicadores considerados	I*W
PH	4	87	4.00	348.58
OD	4	85	2.00	338.22
C.E-	1	86	1.00	85.93
Alcalinidad	2	48	2.00	96.72
No3	1	100	1.00	100.00
Po4	1	70	1.00	70.30
Dureza total	1	70	1.00	70.30
PESO TOTAL	14	547	12.00	1110.06
ICA GLOBAL = 93				

Tabla 4.1 índices de calidad del agua

INDICES DE CALIDAD DEL AGUA					
ICA	CRITERIO GENERAL	ABASTECIMIENTO PUBLICO	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIAL Y AGRICOLA
100	EXCELENTE	NO REQUIERE PURIFICACIÓN	ACEPTABLE PARA CUALQUIERE DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	NO REQUIERE PURIFICACIÓN
90		LIGERA PURIFICACIÓN			LIGERA PURIFICACIÓN PARA ALGUNOS PROCESOS
80	ACEPTABLE	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	EXCEPTO ESPECIES Y SENSIBLES DUDOSO ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL.
70					
60	CONTAMINADO	DUDOSO	DUDOSO CONTACTO CON EL AGUA	SOLO ORGANISMO MUY RESISTENTES	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARE DE LA INDUSTRIA
50			SIN CONTACTO DE AGUA		
40	FUERTEMENTE CONTAMINADO	NO ACEPTABLE	SEÑAL DE CONTAMINACIÓN	NO ACEPTABLE	USO MUY RESTRINGIDO
30			NO ACEPTABLE		NO ACEPTABLE
20	INACEPTABLE				
10					