

Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
División de Ciencias Biológicas y Ambientales



“Estudios de la contaminación de los
recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro,
previos a la construcción de una hidroeléctrica
(P.H. Las Cruces) en Nayarit, México”

Tesis
que para obtener el título de
Licenciado en biología

Presenta
Citlalli Micaela Rojas Mayorquín

TESIS/CUCBA

Zapopan, Jalisco, 4 de julio 2011.

El presente trabajo fue realizado en el Laboratorio de Salud Ambiental de la Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, bajo la Dirección del Dr. Javier García Velasco y la asesoría de la Dra. Martha Georgina Orozco Medina y la Biol. Beatriz Rodríguez Pérez. El planteamiento de esta tesis surge a partir del proyecto “Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional (MIA-R) y el Estudio Técnico Justificativo para Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales (ETJ) en el área de Influencia del Proyecto Hidroeléctrico (PH) Las Cruces, en el estado de Nayarit”, solicitado por la CFE a la Universidad de Guadalajara.



Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología

COORD-BIO-148/2010.

C. CITLALLI MICAELA ROJAS MAYORQUIN
PRESENTE

Manifestamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de **TESIS E INFORMES** opción **TESIS** con el título: “**Estudio de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México**”, para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como director de dicho trabajo al **Dr. Javier García Velasco** y como asesor a: **Dra. Martha Georgina Orozco Medina** y **Biol. Beatriz Rodríguez Pérez**.

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"

"2010 Bicentenario de la Independencia y Centenario de la Revolución Mexicana"
Las Agujas, Nextipac, Zapopan Jalisco, 27 de octubre del 2010.


DRA. TERESA DE JESÚS ACEVES ESQUIVIAS
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN


M.C. GLORIA PARADA BARRERA
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Dra. Teresa de Jesús Aceves Esquivias.
 Presidente del Comité de Titulación.
 Licenciatura en Biología.
 CUCBA.
 Presente

Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad **Tesis e informes**, opción **Tesis** con el título: **"Estudio de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México"** que realizó el/la pasante **Citlalli Micaela Rojas Mayorquin** con número de código **302331136** consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente
 Guadalajara, Jalisco, a 30 de Mayo de 2011.



Dr. Javier Garcia Velasco
 Director del trabajo,

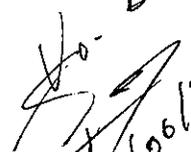


Biol. Beatriz Rodríguez
 Perez
 Asesor



Dra. Martha Georgina
 Orozco Medina
 Asesor

Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
MD. CAUL ARIAGA RUIZ		02/06/2011
Ayda Rosal Ramirez		3/06/2011
Rebeca Alejandra		03/06/2011
Supl. Dra. Martha Georgina Orozco		30 May 2011

Ho. B.

 1/06/2011

*Haz lo necesario para lograr tu más ardiente deseo, y
acabarás lográndolo.*

Ludwig van Beethoven

*Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en
el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.*

Mahatma Gandhi



Contenido

Agradecimientos	7
Resumen	9
1. Introducción	11
1.1 Estudios de Impacto Ambiental	11
1.2 La Calidad del agua	12
1.3 Principales indicadores de calidad del agua	13
1.4 Principales grupos de contaminantes en el agua.	14
1.5 La calidad del agua en México.	17
1.6 Importancia del análisis de los metales pesados	18
1.6.1 Importancia del análisis de los metales pesados en sedimentos de río.	19
1.7 Metales Pesados.	19
1.7.1 Definición y Clasificación	19
1.8 Contaminación por metales pesados.	20
1.8.1 Origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos	20
1.8.2 Origen natural.	21
1.8.3 Origen antropogénico	21
1.9 Sedimentos.	23
1.9.1 Contaminación de sedimentos por metales pesados	24
1.10 Toxicidad y acumulación de los metales pesados	24
1.10.1 Efectos tóxicos de los metales pesados.	28
1.10.1.1 Efectos en el ambiente.	28
1.10.1.2 Efectos en la salud humana.	29
2. Antecedentes.	31
2.1 Descripción del Proyecto Hidroeléctrico (PH) Las Cruces en el estado de Nayarit	33
3. Planteamiento del problema	37
4. Objetivos	39
Objetivo General	39
Objetivos Particulares.	39

5.	Metodología	41
5.1	Localización del área de estudio	42
5.2	Protocolo de muestreo de agua y sedimentos	43
5.3	Analítica de agua	46
5.4	Analítica de sedimentos	47
5.4.1	Análisis de sedimentos mediante espectrofotometría de fluorescencia	48
5.5	Protocolo de muestreo y análisis de plancton	49
5.6	Calculo del índice de calidad del agua	50
5.7	Legislación utilizada en el análisis	50
6.	Resultados	51
6.1	Resultados de análisis de agua	51
6.1.1	Datos tomados en campo	51
6.1.2	Resultados de análisis microbiológicos	59
6.1.3	Resultados de fisicoquímicos	61
6.1.4	Resultados de metales pesados.	70
6.1.5	Resultados de nutrientes y DQO..	77
6.2	Resultados de análisis de sedimento	81
6.3	Resultados de plancton.	87
6.4	Resultados de Índice de Calidad de Aguas	117
6.5	Parámetros fuera de norma	118
6.6	Limitantes de uso en el agua estudiada.	126
6.7	Resultados del análisis de fluorescencia de rayos X (FRX).	130
6.7.1	Concentración de metales	130
6.7.2	Descripción de metales	135
7.	Discusión	139
8.	Conclusiones	145
9.	Bibliografía	147
10.	Anexos	153
10.1	Abreviaturas y símbolos.	153
10.2	Procedimiento para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA).	154

Agradecimientos

Esta Tesis esta dedicada...

A mis padres, a quienes agradezco por todo su cariño, apoyo y paciencia.

A mis hermanos por su confianza y lealtad.

A mis amigos por su apoyo incondicional.

A mis maestros y asesores, por su disposición y ayuda brindadas a lo largo de este proyecto.

Resumen

El río San Pedro procede de una de las cuencas hidroológicas más importantes de tres estados de la República (Durango, Nayarit y Zacatecas), por ello es necesario realizar estudios en términos del agua dadas las condiciones de contaminación en el río, tomando en cuenta, además, la construcción de la hidroeléctrica "Las Cruces", ya que en términos de gestión del agua es un evento de gran importancia dadas sus alteraciones al sistema hídrico y su biodiversidad, que ya presenta daños importantes a la calidad.

El estudio consiste en conocer las características físico - químicas y bacteriológicas del cuerpo de agua para determinar las condiciones de un uso determinado para las diferentes actividades productivas que se dan en él y como agua potable en el abastecimiento a sus poblaciones. En este trabajo se ha evaluado el estado físico, químico y biológico de la calidad del agua (de acuerdo a la Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 y los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89) y se ha evaluado el grado de contaminación por metales pesados en los sedimentos de la cuenca del río San Pedro, mediante un método de prueba de fluorescencia de rayos X (S4 EXPLORER). Para ampliar la información sobre las condiciones del río, el estudio de los sedimentos tiene un interés especial debido a su composición, ya que aporta información para conocer el grado de contaminación de una determinada zona.

Según los resultados obtenidos, el estudio supone que la contaminación del río es provocada principalmente por la descarga de aguas residuales y drenaje agrícola, ya que usan el río como vía de eliminación de sus desechos y caudales. La contaminación observada en el río San Pedro, es de tipo microbiológico, lo que sugiere una evidente ausencia de tratamiento en las descargas, la cantidad de microorganismos patógenos presentes es una señal de alerta sanitaria a la población. Las grandes poblaciones de plancton sugieren que el río presenta un alto grado de eutroficación, incrementos en la materia orgánica, salinidad y cambios en la mineralización del agua (se refiere al intercambio de las cualidades de un mineral al agua). En lo que respecta al estudio de los sedimentos, los valores de concentración de los metales pesados se encuentran en niveles de concentración que evidencian diferentes grados de toxicidad. Se comprueba que la contaminación por Fe, Hg, Pb, Mn, Si y Ti tienen origen antropogénico, siendo los vertidos existentes en el municipio de Ruiz y Tuxpan las principales fuentes de contaminación por metales pesados.

Se determinó que el agua del río San Pedro, Nayarit, esta *contaminada* y no es adecuada para el uso y consumo humano, excepto para organismos acuáticos resistentes a ella.

El río requiere de un saneamiento básico (limpieza en los bordes del río, plantas de tratamiento, reutilización del agua) que elimine los contaminantes que se han acumulado durante muchos años, para que restablezca el valor ecológico del río.

1

Introducción

1.1 Estudios de Impacto Ambiental

Se define impacto ambiental como la "Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza".

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es uno de los instrumentos de la política ambiental con aplicación específica e incidencia directa en las actividades productivas, que permite plantear opciones de desarrollo que sean compatibles con la preservación del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. En las últimas dos décadas la EIA ha logrado constituir como una de las herramientas esenciales para prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente y los recursos renovables del país. Se orienta a los impactos ambientales que eventualmente podrían ser provocados por obras o actividades que se encuentran en etapa de proyecto (impactos potenciales), es decir, que no han sido iniciadas.

La EIA tiene sus bases jurídicas en las disposiciones que al respecto establece la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

Existen diversos tipos de impactos ambientales, pero fundamentalmente se pueden clasificar de acuerdo a su origen:

1. El aprovechamiento de recursos naturales ya sean renovables, tales como el aprovechamiento forestal o la pesca; o no renovables, tales como la extracción del petróleo o del carbón.
2. Contaminación. Todos los proyectos que producen algún residuo (peligroso o no), emiten gases a la atmósfera o vierten líquidos al ambiente.
3. Ocupación del territorio. Los proyectos que al ocupar un territorio modifican las condiciones naturales por acciones tales como desmonte, compactación del suelo y otras.

Así, la EIA está dirigida a efectuar el análisis detallado de los diversos proyectos de desarrollo y del sitio donde se pretenden realizar, con el propósito de identificar y cuantificar los impactos ambientales que puede ocasionar su ejecución.

1.2 La Calidad del agua

A través de la historia de la humanidad, la acción del hombre sobre la naturaleza ha generado e inducido modificaciones de las que por mucho tiempo ha ignorado su efecto. Los productos de la ciencia y la industria (procesos de extracción-explotación de los recursos naturales y procesos científicos que generan su transformación y síntesis artificial) constituyen una cadena de aciertos y errores que la sociedad padece o disfruta, sin mayor conciencia de ello. En tiempos actuales la contaminación de los cuerpos acuáticos es un problema digno de tomarse en cuenta debido a que el uso intensivo, la degradación creciente y los problemas de salud como el deterioro de los acuíferos, la disminución de fuentes de abastecimiento de fuentes de agua potable está en función de su utilización y esta definida por un determinado número de parámetros cualitativos y cuantitativos (Martínez Rodríguez, 2002). Ciertas prácticas de aprovechamiento de la naturaleza y sus riquezas, conllevan efectos que alteran la estabilidad de los ecosistemas, afectan la sustentabilidad de los recursos naturales y actúan sobre la salud de los seres vivos en forma negativa.

Según la OMS (2000), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterada de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural. Una definición de la **contaminación** del agua dice que el medio acuático está contaminado cuando la composición o el estado del agua están modificados, directa o indirectamente, por el hombre (Ministerio de Medio ambiente, 2000) o por eventos de la naturaleza (Hutchinson, 1957).

Cuando un río o un lago reciben descargas de aguas residuales o agrícolas, con altos contenidos de nutrientes, puede producirse una fertilización excesiva de las aguas. Ello provoca el envejecimiento prematuro del cuerpo receptor, con la consecuente pérdida de oxígeno disuelto y proliferación de malezas acuáticas (Wetzel, 1981).

El ambiente se daña seriamente debido a la contaminación del agua, muchos organismos que viven y se reproducen en ella son afectados por la contaminación de la misma, lo cual paralelamente lastimar el ciclo vital de otras especies animales y vegetales acuáticas. Por otro lado es importante señalar que la presencia o ausencia de algunos microorganismos en los sistemas acuáticos son indicadores de calidad o ausencia de la misma, esto es conocido como biomonitoreo (Margalef, 1986).

La calidad del agua interesa desde diversos puntos de vista:

- Utilización fuera del lugar donde se encuentra (agua potable, usos domésticos, urbanos e industriales, riego)
- Utilización del curso o masa de agua (actividades recreativas: baño, remo, pesca, etc.)
- Como medio acuático, que acoge especies animales y vegetales

Por lo tanto, hablar de **calidad del agua** siempre conlleva a integrar el factor de su utilización para una correcta ponderación de dicha calidad, dado que sus características de composición pueden indicar que son aptas para algunos usos determinados y excluyentes para otros, de modo que se presta menos fácilmente a todas o algunas de las utilizaciones para las que podría servir en su estado natural (Ministerio de Medio ambiente, 2000).

En la determinación de la disponibilidad del agua en un país, no solamente es necesario saber la cantidad de agua que está a nuestro alcance en las diferentes fases del ciclo hidrológico, también es muy importante conocerse las características físico-químicas y bacteriológicas del agua para estar en condiciones de darle un uso en las diferentes actividades productivas y como agua potable en el abastecimiento de poblaciones (Margalef, 1991).

Los criterios y normas de calidad del agua pueden definirse como los niveles o concentraciones que deben respetarse para un uso determinado. Son muchos los usos que pueden darse al agua, pero aquellos que involucran criterios de calidad del agua son principalmente los siguientes: 1) abastecimiento para sistemas de agua potable e industrias alimenticias, 2) usos recreativos, 3) conservación de la flora y fauna, 4) uso agrícola e industrial, 5) acuicultura y riego. El manejo de la calidad del agua se mejora con la aplicación de las normas de calidad para cuerpos receptores y descargas de aguas residuales.

1.3 Principales indicadores de calidad del agua

La manera de estimar la calidad del agua consiste en la definición de índices o ratios de las medidas de ciertos parámetros físicos, químicos o biológicos en la situación real y en otra situación que se considere admisible o deseable y que viene definida por ciertos estándares o criterios.

Los **parámetros físicos** son: la transparencia, turbidez, color, olor, sabor, temperatura, conductividad eléctrica y pH.

Turbiedad: Es el "nublamiento" ocasionado por la presencia de material suspendido. Algunos materiales que dan al agua esta apariencia son: barro, arena, material orgánico finamente dividido, plancton y otros materiales inorgánicos (Martínez Rodríguez, 2002).

Color: Lo causa el material orgánico disuelto de vegetación en descomposición y cierta materia inorgánica en el agua (Martínez-Rodríguez, 2002). Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación (Echarri, 1998).

Olor y Sabor: Los compuestos químicos presentes en el agua pueden darle olores y sabores muy fuertes aunque estén en pequeñas concentraciones, algunos de estos compuestos: fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor (Echarri, 1998).

Temperatura: La temperatura óptima del agua para beber está entre los 10 y los 15°C (Echarri, 1998; Martínez-Rodríguez, 2002), es consistentemente fría y no tiene variaciones de temperatura de más de unos pocos grados. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (como el oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción (Echarri, 1998). La temperatura también afecta la percepción sensitiva de sabores y olores (Martínez-Rodríguez, 2002).

Conductividad: El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y ca-

racterísticas de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C (Echarri, 1998).

Los **parámetros químicos** son los más importantes para definir la calidad del agua, existe una extensa lista de ellos siendo posible agruparles en:

Sustancias presentes naturalmente y sustancias vertidas artificialmente. Como no hay un límite bien marcado entre unas y otras, ya que muchas pueden proceder de ambas fuentes (nitrógeno, fenoles, etc.), las estimaciones deben hacerse en función de diferencias de concentración y no de los valores absolutos.

Sustancias y caracteres estables, inestables, ligeramente estables. Esta agrupación se usa cuando hay que decidir los análisis u observaciones a realizar in situ en un laboratorio móvil o en laboratorio permanente.

Sustancias presentes habitualmente en cantidades grandes y sustancias presentes en cantidades pequeñas. Las primeras deben ser analizadas con frecuencia y corresponden a los iones más importantes, el oxígeno disuelto, etc., algunos contaminantes, como detergentes y los derivados del petróleo. Las segundas deben ser analizadas solo en la investigación preliminar o en observaciones muy detalladas.

Los **parámetros biológicos** incluyen diversas especies microbiológicas patógenas al hombre así como virus y diversos invertebrados. Últimamente se utilizan los llamados "índices bióticos", que se construyen en función de la presencia de ciertas especies (generalmente taxones), y se comportan como indicadores de los niveles de contaminación, así como de las variaciones de la estructura de la comunidad biótica ocasionadas por la alteración del medio acuático (Ministerio de Medio ambiente, 2000).

La selección de los parámetros se puede determinar en función de los usos del agua, siendo los más comunes el uso doméstico, industrial, riego, recreo y vida acuática, variando el número y tipo de parámetros ya que las exigencias de calidad son diferentes.

Los estándares constituyen un punto de referencia para determinar la calidad del agua, y sufren de frecuentes revisiones a medida que se avanza en el estudio de las consecuencias de la contaminación y son, en todo caso, independientes del propio medio que se pretende estudiar, lo que lleva a pensar en la conveniencia de establecer estándares diferentes para contextos territoriales distintos. Existen diferentes estándares de calidad que cada país, región o comunidad adopta según sus criterios de seguridad establecidos.

En México las especificaciones de contaminantes y de calidad se señalan en los "Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89" y la "NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-límites Permisibles de Calidad y Tratamiento a que debe Someterse el Agua para su Potabilización", los cuales presentan gran similitud con los principales lineamientos que en esta materia existen en diversos países tanto de América como de Europa.

1.4 Principales grupos de contaminantes en el agua

El agua recibe diversos agentes contaminantes, en función de múltiples fuentes generadoras, tanto de actividades antrópicas como naturales que se pueden presentar en la cuenca. En las

tablas 1 a 4 se enumeran algunos de los principales contaminantes, su principal origen y efectos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000), así mismo, se describen algunos de los principales procesos de contaminación y sus efectos.

TABLA 1
Químicos inorgánicos contaminantes del agua

<i>Contaminante</i>	<i>MNMC¹ (mg/L)⁴</i>	<i>NMC² o TT³(mg/L)⁴</i>	<i>Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC</i>
Arsénico	ninguno ⁵	0.05	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales.
Cromo (total)	0.1	0.1	Dermatitis alérgica.
Cobre	1.3	Nivel de acción=1.3; TT ⁶	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales. Aquellos con enfermedad de Wilson deben consultar a su médico si la cantidad de cobre en el agua superara el nivel de acción.
Cianuro (como cianuro libre)	0.2	0.2	Lesiones en sistema nervioso o problemas de tiroides
Flúor	4.0	4.0	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea) Los niños podrían sufrir de dientes manchados
Plomo	Cero	Nivel de acción=0.015; TT ⁶	Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión
Mercurio (Inorgánico)	0.002	0.002	Lesiones renales
Nitrato (mediado como nitrógeno)	10	10	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).
Selenio	0.05	0.05	Caída del cabello o de las uñas; adormecimiento de dedos de manos y pies; problemas circulatorios.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000. Consultar anexo 10.1

TABLA 2
Químicos orgánicos contaminantes del agua

<i>Contaminante</i>	<i>MNMC¹ (mg/L)⁴</i>	<i>NMC² o TT³(mg/L)⁴</i>	<i>Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC</i>
Benceno	cero	0.005	Anemia; trombocitopenia; alto riesgo de cáncer.
Tetracloruro de carbono	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000. Consultar anexo 10.1

TABLA 3
Microorganismos contaminantes del agua

Contaminante	MNMC ¹ (mg/L) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/L) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC
Coliformes totales (incluye coliformes fecales y E. Coli)	cero	5.0% ¹⁰	Por sí mismos, los coliformes no constituyen una amenaza para la salud; su determinación se usa para indicar si pudiera haber presentes otras bacterias posiblemente nocivas.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000. Consultar anexo 10.1

TABLA 4
Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua

Contaminantes y procesos	Descripción	Fuentes
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización.	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutrofización. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas.	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola.
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales (E. Coli, protistas, amebas, etc.).	Fuentes municipales.
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos polícíclicos generados de la combustión del petróleo. Compuestos orgánicos persistentes (POP) como químicos disruptores endocrinos, cianotoxinas, compuestos órgano estánicos de pinturas antiincrustantes.	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola
Químicos traza y compuestos farmacéuticos	Desechos hospitalarios, son sustancias peligrosas no removidos necesariamente por los tratamientos convencionales y han sido reconocidos con disruptores endocrinos y carcinogénicos.	Industria química y farmacia.
Partículas suspendidas	Pueden ser orgánicas o inorgánicas y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, como deforestación, conversión de pendientes en pastizales originando erosión.	Industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambios en el uso de la tierra.
Salinización	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados. También ocurre por afloramiento de agua proveniente de zonas altas, donde se riega (lavado de sales).	Presencia de sales en los suelos, la que aflora por carecerse de un buen drenaje, irrigación con agua salobre, agua de yacimientos secundarios de petróleo.
Acidificación	Está relacionada con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y por las emisiones urbanas.	Fuentes industriales y fuentes municipales.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Notas a las tablas

(Tabla 1) El plomo y el cobre se regulan mediante una Técnica de Tratamiento que exige la implementación de sistemas que controlen el poder corrosivo del agua. El nivel de acción sirve como un aviso para que los sistemas de agua públicos tomen medidas adicionales de tratamiento si los niveles de las muestras de agua superan en más del 10 % los valores permitidos. Para el cobre, el nivel de acción es 1.3 mg/L y para el plomo es 0.015 mg/L.

Todos y cada uno de los sistemas de agua deben declarar al estado, por escrito, que si se usa acrilamida y/o epíclorohidrina para tratar agua, la combinación (o producto) de dosis y cantidad de monómero no supera los niveles especificados, a saber: acrilamida = 0.05% dosificada a razón de 1 mg/L (o su equivalente); epíclorohidrina = 0.01% dosificada a razón de 20 mg/L (o su equivalente).

(Tabla 3) En un mes dado, no pueden detectarse más de 5.0% de muestras con coliformes totales positivas. Para sistemas de agua en los que se recogen menos de 40 muestras de rutina por mes, no puede detectarse más de una muestra con coliformes totales positiva. Toda muestra que presente coliformes totales debe analizarse para saber si presenta *E. Coli* o coliformes fecales, a fin de determinar si hubo contacto con heces fecales humanas o de animales (coliformes fecales y *E. Coli* son parte del grupo de coliformes totales).

Coliformes fecales y *E. Coli* son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retortijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos.

1.5 La calidad del agua en México

La calidad ambiental tiene que ver en mucho con la escasez de agua, su demanda y uso, también tiene que ver con las características propias del país, éstas son la variabilidad fisiográfica y climática que se presente, y todo esto tiene que ver con la disponibilidad real más que con la disponibilidad teórica del agua en el país.

La problemática asociada a la calidad del agua se observa en términos de disponibilidad. En términos de los usos del agua en el país, anualmente se utilizan 72 mil millones de m³. De éstos el 78% lo usa la agricultura, el uso público urbano, el uso pecuario y la industria consumen el otro 28 %. Del total del agua disponible, las aguas subterráneas abastecen casi un tercio o un poco más. El 70% de la población se abastece de aguas subterráneas, un tercio de la superficie total regada está hecha con ellas y la mitad de la demanda de la industria se abastece con estas, por esta razón se consideran estratégicas y son tan cuidadas en el país.

En términos de las aguas residuales, en México se generan alrededor de 420 m³ cada segundo, de estas las municipales generan 250 m³/s y las no municipales generan los restantes 170 m³/s. Los giros industriales que generan mayor cantidad en volumen son la acuicultura, la in-

dustria del azúcar, la industria del petróleo, la industria química y otros servicios, pero cuando se ve la cantidad de carga orgánica que aportan los giros industriales, la acuicultura prácticamente no aporta contaminación y entonces la industria del azúcar, petróleo y demás son las mayores aportadoras. Es decir, que no hay una correlación entre cantidad y calidad. Las industrias producen una degradación intensa en la calidad del agua, impactos ecológicos diversos, pérdida del uso natural y abatimiento en la disponibilidad por afectación de la calidad.

En cuanto a la contaminación del agua superficial se observa que la detección se da por una red nacional de monitoreo que opera la CNA desde hace más de treinta años. El monitoreo se hace hoy día en más de 215 cuerpos de agua, y se observa el comportamiento de la calidad del agua. La calidad del agua aceptable para cualquier tipo de uso es la que el 5% lo cual representa una pequeña cantidad de cuerpos de agua, la aceptable es del 22%, el agua poco contaminada representa un 49%, la contaminada 15%, la altamente contaminada 7% e incluso se tiene presencia de tóxicos en 2%. Este análisis de tóxicos se hace para cuerpos de agua donde se conoce que hay ese problema, afortunadamente la toxicidad de las aguas no es generalizada en el país.

Respecto al agua subterránea, se tiene una gran cantidad de acuíferos sobre-explotados que inciden en otras problemáticas: hay un cierto agotamiento de los manantiales y humedales, afectación a lagos, reducción de los caudales de los ríos; hay variaciones en la afectación de la vegetación nativa, afectación a los ecosistemas, en las zonas costeras se provoca la intrusión salina, migración de agua fósil más mineralizada y contaminación difusa de las zonas urbanas y agrícolas, todo esto como reflejo de parte de esa sobreexplotación de los acuíferos. En este sentido hay dos tipos de problemas asociados a la calidad del agua de las aguas subterráneas: a) por un lado están algunas cuestiones de contaminación natural como por ejemplo la disolución de sales arsenicales en la zona de la Comarca Lagunera y b) la presencia de otro tipo de sales en algunas zonas del país donde hay presencia de flúor, nitratos o de sólidos disueltos totales.

En cuanto las zonas costeras, muchas de estas aguas residuales son descargadas al mar, y aquí la variabilidad va desde zonas de descargas, zonas urbanas o algunos giros industriales que descargan en las zonas costeras. Por otra parte, los servicios públicos generan aguas residuales que nos afectan cuando son aguas sin tratar y aparecen organismos que pueden parasitar y crear otro tipo de problemas asociados a la salud pública (SEMARNAT 2010).

Las prácticas asociadas al manejo y disposición de las aguas, también han traído consigo diversos efectos socioeconómicos. Con la contaminación del recurso, se ha reducido la disponibilidad de agua superficial de buena calidad, ocasionando una explotación mayor de los mantos acuíferos, y la importancia de fuentes cada vez más lejanas a los centros de desarrollo urbano-industrial, con el consecuente incremento en los costos de suministro y el déficit constante en la dotación a los sectores más pobres de la población (Martínez Rodríguez, 2002).

1.6 Importancia del análisis de los metales pesados

Los estudios de calidad de las cuencas hidrográficas han adquirido gran interés en las últimas décadas, dado el incremento de población en sus riberas, el creciente grado de industrialización y los aportes del sector primario que se presentan. La importancia que tiene el estudio de

metales pesados en aguas y sedimentos está dada por sus características: elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos (Rosas Rodríguez, 2001).

La investigación de la presencia de metales pesados en determinadas zonas, permite conocer las rutas de contaminantes y su interacción con otras sustancias presentes (Griet Eekhout, 2006).

El aporte de información contribuye al diagnóstico de cada cuenca y por consiguiente a facilitar la toma de decisiones en proyectos posteriores, sobre todo en decisiones de carácter gubernamental (Rosas Rodríguez, 2001).

1.6.1 Importancia del análisis de los metales pesados en sedimentos de río

El análisis de metales pesados en sedimentos de río permite detectar la contaminación que puede escapar al análisis de las aguas y también proporciona información acerca de las zonas críticas del sistema acuático (Belkin y Sparck, 1993; Chen et al., 1996).

El estudio de la fracción biodisponible o móvil de metales ligados a sedimentos es más importante que la concentración total del metal en las corrientes fluviales (Chen et al., 1996).

Se puede realizar dos tipos de determinaciones: 1) La concentración total de metales, que proporciona una evaluación del nivel de contaminación y, 2) La especiación o el estudio de las diferentes formas químicas en las que se encuentra el metal, ésta proporciona información respecto a la biodisponibilidad en determinadas condiciones medioambientales (Chen et al., 1996).

Los porcentajes de metales en las diferentes fracciones varían de acuerdo a la magnitud de la contaminación de los sedimentos. Esta variabilidad es resultado de las propiedades de los metales y de la competición entre la adsorción de sedimentos (Campell y Tessier 1987; Vaithyanathan et al. 1993; Föstner, 1993).

Es posible esperar que los metales en los sedimentos estén distribuidos siguiendo un patrón que es consistente con los procesos dinámicos locales (circulación, fuentes puntuales de entrada y áreas de sedimentación) (Ahumada y Contreras, 2002).

Para entender el comportamiento químico y biodisponibilidad de metales en los sedimentos y caracterizar su composición elemental, es decir, los sedimentos bajo cambios en las condiciones ambientales, es de gran utilidad determinar las diversas formas químicas en que se encuentran, así como el tipo de sustrato al que se hallan asociados los cationes metálicos en los sedimentos (Usero, et al., 1997).

1.7 Metales Pesados

1.7.1 Definición y Clasificación

Desde el comienzo de la era industrial, los metales han penetrado lentamente en el ambiente, ocasionando que se acumulen progresivamente en suelos, sedimentos y aguas superficiales. Constituyen el 75% de los elementos conocidos, están caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad, y son sólidos en temperaturas normales (excepto el mercurio). Pueden formar aleaciones entre sí y son ampliamente utilizados, por

ejemplo, en la fabricación de coches, computadoras, la construcción de autopistas, puentes, etc., así como en la producción de electrodomésticos, y material de laboratorio. Se encuentran en forma de elementos nativos (mineral, geológico) o son producto de actividades antropogénicas (fungicidas, minería y fundición, industrias plásticas, y deshechos) (Griet Eeckhout, 2006).

Existen varias definiciones del término "metales pesados". En esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por lo tanto, de interés minero (Oyarzun & Higuera, 2009).

Por lo general se acepta que son aquellos elementos químicos que presentan ciertas propiedades comunes: conductividad eléctrica y térmica altas, maleabilidad, ductibilidad y brillo (Vega y Reynaga, 1990), cuya densidad es mayor a 5 g/ml (Cervantes y Moreno, 1999), por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Algunos metales pesados son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn) (Arce García, 2000).

Los metales pesados se encuentran en forma aislada o combinados formando minerales (Vega y Reynaga, 1990). Pueden encontrarse en mayores cantidades en los extractos profundos de los ríos y en menor proporción en la superficie, los mantos acuíferos no contaminados pueden contener cantidades muy pequeñas (Arce García, 2000).

Dentro de los metales pesados hay dos grupos (Arce García, 2000):

**Oligoelementos o micronutrientes* que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital.

Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.

Estos elementos minoritarios se encuentran en muy bajas concentraciones en el suelo y agua. Pasado cierto umbral biológico se vuelven tóxicos. La ausencia de estos micronutrientes causa enfermedades y su exceso intoxicaciones.

**Metales pesados sin función biológica conocida*, su presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, generan disfunciones en el funcionamiento de sus organismos, produciendo inhibición de las actividades enzimáticas.

Son altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. A este grupo pertenecen principalmente: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Antimonio (Sb), Bismuto (Bi). La toxicidad de estos metales se debe a su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, pero la reactividad de cada metal es diferente y consecuentemente lo es su acción tóxica.

1.8 Contaminación por metales pesados

1.8.1 Origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos

En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) la contaminación se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la

acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana (Rosas Rodríguez, 2001).

1.8.2 Origen natural

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer lugar de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo (Adriano, 1986). Una alta concentración de metales puede resultar en ciertos casos de su *material geológico* sin que haya sufrido una contaminación puntual (Murray, 1996; Tam y Yao, 1998).

La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota) (Adriano, 1986).

1.8.3 Origen antropogénico

Se entiende por contaminación de origen antropogénico a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados.

Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado (Wittmann, 1981).

En la **tabla 5** están recogidos algunos de los procesos industriales por los que se introducen metales pesados en el medio ambiente.

En las zonas de estudio de la presente tesis, el río San Pedro, los principales orígenes antropogénicos de metales pesados pueden ser agrupados de acuerdo a las principales actividades económicas que se realizan en las poblaciones locales que dependen e inciden directamente en la salud del río: agropecuario (agrícola, ganadero, acuícola), industriales (extracción forestal, bancos de materiales) y doméstico.

Origen agropecuario

Los orígenes agrícolas de los metales pesados en las aguas continentales son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos debido al uso o abuso de pesticidas (**tablas 5 y 6**), fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono (Rosas Rodríguez, 2001), el empleo sistemático de fertilizantes, biocidas, y abonos orgánicos son el principal foco de contaminación difusa de los suelos, así como la eliminación incontrolada de los envases de dichos productos, que generalmente son depositados en vertederos para residuos no peligrosos o abandonados en los campos (Fundación MAPFRE, 1994). Los metales presentes en los terrenos alcanzan los cursos de agua no sólo directamente al ser lixiviados por la escorrentía superficial (aguas de riego y tormentas), sino también indirectamente al infiltrarse desde acuíferos previamente contaminados (Rosas Rodríguez, 2001).

TABLA 5
Principales orígenes antropogénicos de los metales pesados

Origen	Sb	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
Baterías eléctricas			*	*			*	*	
Cementos y amiantos					*				
Chapados metálicos					*				
Curtidos metálicos				*	*				
Curtidos de pieles				*	*				
Eléctrica y electrónica			*	*	*		*	*	*
Farmacéuticas		*		*	*				*
Fertilizantes		*	*	*	*	*	*	*	*
Fotografía			*	*	*			*	
Fundiciones		*	*	*	*		*	*	*
Galvanizados, electrochapados			*	*	*		*	*	*
Minería	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Motores de vehículos, chapados de aviones			*	*	*				*
Municiones y explosivos				*	*			*	
Papeleras y similares				*	*		*	*	*
Pesticidas		*		*	*	*		*	*
Pigmentos, tintes, tintas, pinturas	*		*	*	*		*	*	*
Plásticos	*		*	*	*				*
Químicas, petroquímica	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Textiles	*			*	*				*
Vitrocerámica			*				*	*	

Fuente: Wittmann, 1981; MOPU, 1982; Moreno Grau, 2003.

TABLA 6
Proporciones de metales pesados en algunos pesticidas recomendados en agricultura

Sustancia	Composición Metálica
<i>Insecticidas</i>	
Aceto-arsenito de cobre	2.3% as; 39% Cu
Arsenato de plomo	4.2-9.1% AS; 11-26% Pb
Arsenato de calcio	0.8-26% AS
Sulfato de zinc	20-30% Zn
Cloruro de mercurio	6% Hg
<i>Fungicidas</i>	
Sulfato de cobre-sales de calcio	4-6% Cu
Sales de cobre	2-56% Cu
Metil y fenil de sales de mercurio	0.6-6% Hg
Acetato fenil mercurio	6% Hg
Mancozeb	2.6% Mn; 2% Zn
Zineb y Ziram	1-18% Zn

Fuente: Adriano, 1986

Los contaminantes de origen ganadero son los debidos a los desechos de los animales y a los que proceden del lavado de establos y granjas. La concentración de metales en dichos materiales es variable y depende del tipo de ganado del que se trate, de la edad del animal, tipo de establo e incluso del manejo de los desechos (Adriano, 1986).

Origen industrial

Una de las principales fuentes de metales pesados en los sistemas acuáticos son las aguas residuales procedentes de las industrias que utilizan los cauces fluviales como vertederos. A menudo estos vertidos no son gestionados, no se someten a procesos de depuración o su tratamiento es inadecuado (Rosas Rodríguez, 2001). Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión, y ser orgánicos e inorgánicos por su naturaleza química (Fundación MAPFRE, 1994).

En la **tabla 5** muestran algunos de los procesos industriales por los que se introducen metales pesados en el ambiente.

Origen doméstico y urbano

Las aguas residuales de las ciudades son las portadoras de los metales pesados de origen doméstico. Los vertidos domésticos transportan una amplia gama de metales contenidos en las excreciones humanas, en los restos de los alimentos, en las aguas de lavado, etc. (Rosas Rodríguez, 2001). La actividad urbana es también una fuente de contaminación fundamentalmente por la generación de residuos sólidos urbanos, las emisiones de los vehículos a la atmósfera o a la producción de lodos en las depuradoras de aguas residuales (Fundación MAPFRE, 1994).

Las emanaciones gaseosas de los automóviles, no sólo afectan a las ciudades, sino que también lo hacen a las zonas limítrofes de autopistas y carreteras. Los metales así originados incluyen al Cd, Cu, Ni, Pb y Zn siendo el Pb el más abundante proveniente de la combustión de la gasolina y el Zn debido al desgaste de los neumáticos. Estos metales contenidos en las partículas de los humos de combustión y las originadas por el desgaste de neumáticos, pueden llegar a alcanzar los sistemas acuáticos de dos maneras: directamente (precipitación de partículas, por la lluvia) e indirectamente por la lixiviación de los terrenos (calles, carreteras y zonas adyacentes donde previamente se produjo la deposición) debido a la escorrentía superficial de las aguas de tormenta y de los riesgos de las ciudades (Rosas Rodríguez, 2001).

1.9 Sedimentos

Los sedimentos constituyen la acumulación de materiales arrastrados (alóctonos), o bien producidos en la misma masa de agua (autóctonos), minerales (evaporitas, arcillas, fragmentos de rocas o materiales clásticos, minerales formados en la propia agua) y orgánicos (organismos enteros que mueren en el sedimento, organismos muertos y fragmentos de los mismos, excrementos, materia orgánica floculada, material detrítico alóctonos). La composición de los sedimentos y la velocidad con que se acumulan, expresan la actividad del lago como receptor de una cuenca y como centro de actividad biológica (Margalef, 1983).

La composición de un sedimento aporta información sobre los diferentes ambientes de constitución y de sedimentación por los que ha pasado. La combinación de los datos de los análisis químicos y mineralógicos de un sedimento reflejan la historia del mismo y los parámetros físicos, químicos, biológicos, etc. de los diversos procesos que han dado lugar a su formación (Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, 2010).

1.9.1 Contaminación de sedimentos por metales pesados

Dentro de los estudios de contaminación por metales pesados en sistemas acuáticos, los sedimentos constituyen un material fundamental para conocer el grado de contaminación de una determinada zona (Chen et al., 1996). Actúan como sumideros de contaminantes y cuando las condiciones ambientales cambian se convierten en fuente importante de metales que pueden ser incorporados por la biota (Ahumada y Contreras, 2002; Ambrosetti et al., 2003; Cifuentes et al., 2004). El efecto puede resultar aún más significativo para los organismos bentónicos que viven en asociación con los sedimentos superficiales contaminados. En muchos casos, los metales se acumulan también en los niveles más altos de la cadena trófica, incluyendo a peces y el hombre. (Romero et al., 2000).

Los sedimentos por si mismos constituyen un reservorio natural de metales pesados (González et al., 2004). Son excelentes adsorbentes de contaminantes, pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación porque los metales pesados no se quedan permanentemente y pueden ser liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos (Rodríguez, et al. 2008).

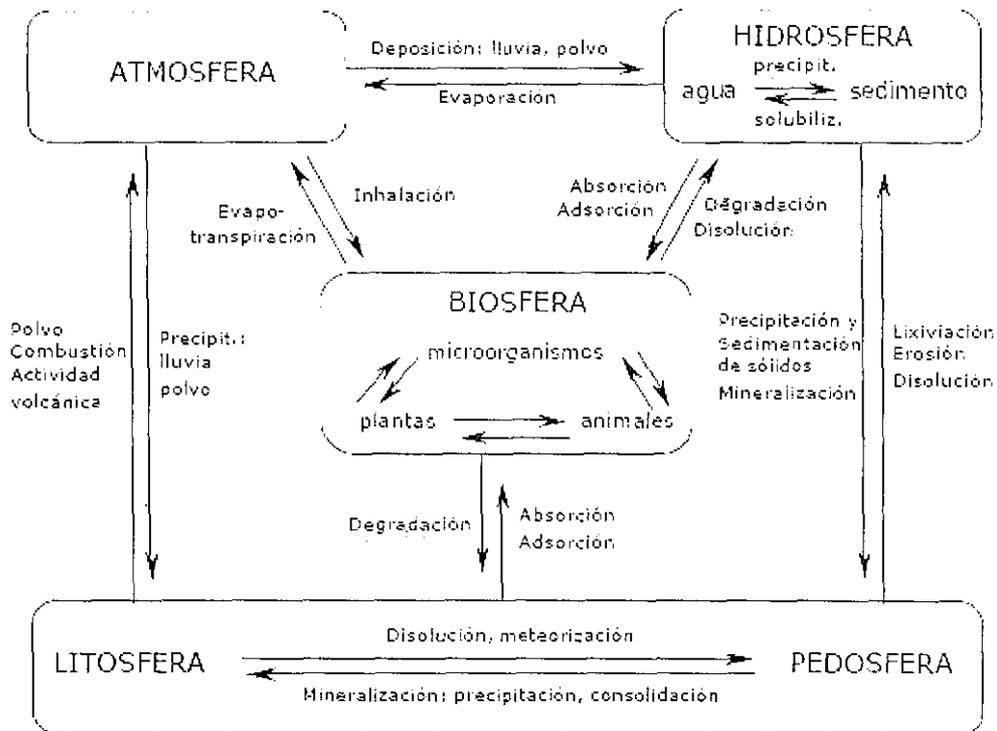
Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales pesados en los sedimentos fluviales. Según su forma de asociación, los metales son susceptibles o no de solubilizarse durante las modificaciones fisicoquímicas estacionales (estiaje, crecida, etc.) (Baruah et al., 1996).

La concentración de metales pesados en los sedimentos no sólo depende de fuentes antropogénicas y litogénicas, sino también de las características textuales, del contenido de la materia orgánica, de la composición mineralógica y del ambiente deposicional de los sedimentos. Por ello, muestras de sedimentos tomadas en puntos muy próximos, pueden presentar contenidos en metales muy diferentes, siendo la textura del sedimento la principal responsable de tales discrepancias (Usero et al., 1997). En limos y en las fracciones finas de arenas las concentraciones de metales generalmente disminuyen, al igual que en la fracción denominada como componentes de cuarzo (Vaithyanathan et al., 1993).

1.10 Toxicidad y acumulación de los metales pesados

En el medioambiente de la superficie terrestre, que está constituida de una mezcla de rocas, tierra, agua, aire y organismos vivos, los metales y metaloides sufren procesos dinámicos biogeoquímicos, estos procesos afectan a la forma atómica del metal y, por tanto, a su solubilidad, movilidad, biodisponibilidad y toxicidad (Griet Eeckhout, 2006).

FIGURA 1
Ciclo biogeoquímica general de los metales pesados



Fuente: Rosas Rodríguez, 2001

Los metales, en cantidades mínimas o trazas, pueden ejercer efectos positivos o negativos sobre los seres vivos. Las pequeñas variaciones de sus concentraciones, tanto disminuciones como incrementos, pueden producir efectos nocivos, a veces graves, crónicos e incluso letales sobre los seres vivos. Ya sea de forma natural o como consecuencia de la actividad humana, estos metales pesados se encuentren actualmente en el medio ambiente de forma accesible (Wittmann, 1981).

El grado de toxicidad potencial y biodisponibilidad que un metal pesado presente en un ambiente dado depende de una serie de factores que si bien están muy interrelacionados, se clasifican en dos grupos: factores abióticos y bióticos.

A. Factores abióticos, clasificados a su vez en dos subgrupos:

a) *Factores inherentes al metal*, entre los que se encuentran la naturaleza del metal, su abundancia de disponibilidad en el medio, su estado molecular específico y su tiempo de permanencia en el sistema.

La toxicidad depende en primer lugar de la propia naturaleza del metal y de su disponibilidad en el ambiente (Melénez Pizarro y Camacho Dávila, 2009).

Al estar sometidos a diferentes condiciones ambientales, los metales pesados pueden mostrar diversas configuraciones moleculares. Sus diferentes especies moleculares o especies químicas pueden suponer distintos grados de bioasimilación o toxicidad (Rovira, 1993).

También influye sobre la toxicidad del metal el tiempo de residencia en el sistema, que puede llegar a ser de muchos años si las condiciones y la estabilidad del medio acuático así lo permiten (Usero et al., 1997).

b) *Factores físico-químicos ambientales*, principalmente pH, potencial redox, cantidad de materia orgánica, temperatura, contenido de oxígeno, etc. Todos los factores inherentes al metal son modificables por factores físicoquímicos ambientales (Wood, 1989; Rovira, 1993; Martínez Rodríguez, 2002).

El efecto combinado de los factores tiene gran influencia sobre el grado de toxicidad y sobre la incorporación de los metales pesados por la biota acuática (Prosi, 1981; Cifuentes et al., 2004).

Se describe a continuación la influencia de algunos parámetros:

El pH afecta a la especiación química y a la movilidad de muchos metales pesados, y los cambios de pH influyen fuertemente en la toxicidad (Wood, 1989, Echarri, 1998; Martínez Rodríguez, 2002).

La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido. El pH tiene un importante efecto sobre la materia orgánica. El pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxocomplejos. Si el pH es elevado entonces puede bajar la toxicidad metálica por precipitación como carbonatos e hidróxidos. La adsorción de los metales pesados está

fuertemente condicionada por el pH del suelo (y por tanto, también su solubilidad) (Arce García, 2000).

El potencial redox o potencial de oxidación-reducción, es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido. Los equilibrios redox están controlados por la actividad de electrones libres en el agua. Los sedimentos están sometidos a unas condiciones redox determinadas, que pueden afectar al estado de algunos elementos tales como C, Ni, O, S, Fe, Ag, As, Cr, Hg y Pb. El potencial redox puede influir en los procesos de adsorción, incluso al propio contaminante (Arce García, 2000).

La temperatura influye sobre la solubilidad de los metales y al igual que el contenido de oxígeno disuelto afecta de forma decisiva tanto a la distribución como al estado fisiológico de la biota del sistema acuático del que va a depender la respuesta frente al tóxico.

La materia orgánica, tanto soluble como particulada, altera la distribución de los metales pesados; se produce por regla una disminución de los niveles disueltos y un aumento de la concentración de metales en la forma coloidal y en suspensión así como en los sedimentos. Los exudados orgánicos de ciertos organismos, los quelantes naturales como succinato, citrato y aspartato, y los ácidos húmicos y fúlvicos son algunas de las sustancias orgánicas capaces de retener metales, aunque sea de forma temporal.

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como el Cu, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas. Por ello algunas plantas de suelos orgánicos presentan carencia de ciertos elementos como el Cu (Arce García, 2000).

La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad (Arce García, 2000).

B. Factores bióticos

El comportamiento de los metales no depende solo de parámetros fisicoquímicos, si no que se vea afectado por factores biológicos que interviene en la solubilización e insolubilización de elementos inorgánicos, alteración de minerales y formación de depósitos (Dekov et al., 1997; Garban et al., 1996, Martínez Rodríguez, 2002).

La toxicidad de los metales pesados en los sistemas acuáticos está condicionada de forma importante a su vez por: a) El grado de bioasimilación y por los mecanismos de defensa que esgriman los organismos frente a los metales, y, b) La acción que la propia biota pueda ejercer sobre su especiación química (Viarengo, 1985; Vega y Reynaga, 1990; Calmano et al., 1993).

La actividad metabólica de los microorganismos juega un papel importante en la movilidad de los elementos tóxicos en el medio ambiente (Wood, 1989; Albert, 1990). Debido a la acción de algunas cepas bacterianas (mecanismos de descodificación) o a la de algunos organismos bentónicos detritívoros, pueden aparecer en el medio, especies metálicas más

o menos móviles, tóxicas e inasimilables para la biota de niveles tróficos superiores que las preexistentes (Romero et al., 2000).

1.10.1 Efectos tóxicos de los metales pesados

Entre los metales que tienen más probabilidades de causar problemas figuran el Cobre (Cu), el Cadmio (Cd), el Mercurio (Hg), el Manganeseo (Mg), el Cobalto (Co) y el Níquel (Ni). Se consideran tóxicos si resulta perjudicial para el crecimiento o el metabolismo de las células al exceder cierta concentración, algunos de ellos constituyen venenos graves incluso a concentraciones muy bajas (Vega y Reynaga, 1990). La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida finamente aumenta las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos (Rosas Rodríguez, 2001).

La toxicidad de un metal depende de su vía de administración y del compuesto químico al que está ligado. La combinación de un metal con un compuesto orgánico puede aumentar o disminuir sus efectos tóxicos sobre las células. La toxicidad es el resultado de: a) cuando el organismo se ve sometido a una concentración excesiva del metal durante un periodo prolongado, b) cuando el metal se presenta en forma bioquímica inusitada o c) cuando el organismo lo absorbe por una vía inusitada. También tienen gran influencia otras variables, como la presencia de otras sustancias, la edad, la nutrición o el embarazo (Vega y Reynaga, 1990)

Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque sí puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando (Vega y Reynaga, 1990; Garban, 1996; Rosas Rodríguez, 2001).

1.10.1.1 Efectos en el ambiente

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación (Arce García, 2000). Dicho fenómeno se da con los metales mercurio y aluminio, en mamíferos consumidores de pescado y en pájaros insectívoros respectivamente (Vega y Reynaga, 1990).

Se sabe muy poco sobre los efectos de los metales en los ecosistemas. En los lugares en que aguas de drenaje de minas fluyen en cursos de agua dulce se producen con frecuencia efectos ecológicos evidentes como, por ejemplo, una gran reducción de la fauna invertebrada y la ausencia de peces (Vega y Reynaga, 1990).

Los metales disueltos en el medio acuoso son fácilmente absorbidos por la biota acuática; es decir, tienen una alta biodisponibilidad en este medio (capacidad de interacción de un contaminante en el sistema biológico). Los metales que se bioconcentran (concentración del

contaminante en los tejidos de la biota con la concentración de ese mismo contaminante en el medio) en las algas marinas son el Aluminio (Al), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Manganeso (Mn), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). En la biota acuática se acumulan principalmente el Cadmio (Cd) y el Mercurio (Hg); el Manganeso (Mn) en el esqueleto de los peces. Esta acumulación depende de la acidez del medio acuoso y de la disminución de la concentración acuática del calcio. De los metales, el más tóxico para los peces es el aluminio. De la concentración total del metal, sólo ciertas formas químicas son tóxicas para los organismos (Vega y Reynaga, 1990).

Una vez alcanzadas concentraciones tóxicas, puede necesitarse mucho tiempo para reducir las a niveles no tóxicos. Ningún contaminante actúa en forma aislada sobre un receptor. La capacidad de absorción de metales por las plantas varía con la acidez, el contenido orgánico y otras características del suelo (Vega y Reynaga, 1990).

1.10.1.2 Efectos en la salud humana

En la **tabla 7** se describen los posibles efectos a la salud que producen los metales pesados.

TABLA 7
Efectos a la salud humana

<i>Metales pesados</i>	<i>Posibles efectos sobre la salud</i>
<i>Elemento</i>	
<i>Arsénico</i>	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.
<i>Cadmio</i>	Lesiones renales.
<i>Cobalto</i>	(*) La exposición a altos niveles de radiación de cobalto puede producir alteraciones en el material genético en el interior de las células, lo que puede conducir al desarrollo de ciertos tipos de cáncer.
<i>Cromo (total)</i>	Dermatitis alérgica.
<i>Cobre</i>	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales.
<i>Mercurio (Inorgánico)</i>	Lesiones renales.
<i>Níquel</i>	(*) Fallos respiratorios. Cáncer de pulmón, nariz, y laringe. Reacciones alérgicas en la piel. Desórdenes del corazón. Embolia de pulmón.
<i>Plomo</i>	Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión.
<i>Estaño</i>	(*) Irritación en piel y ojos. Dolores de estómago, anemia, y alteraciones del hígado y los riñones. Inhalar compuestos orgánicos de estaño puede interferir con el funcionamiento del sistema nervioso y el cerebro. En casos graves, causa la muerte.
<i>Zinc</i>	(*) Pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. Irritación en la piel, pequeñas llagas y erupciones cutáneas. Defectos de nacimiento.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000 (*): Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR).



2

Antecedentes

El río San Pedro procede de una de las cuencas hidrológicas más importantes de los estados de Durango, Nayarit y Zacatecas. Tiene distintos nombres a lo largo de su trayectoria. Nace con el nombre Saucedá, al noreste de la ciudad de Durango, para desembocar en Marismas Nacionales, Nayarit, y finalmente desembocar al Océano Pacífico en el municipio de Santiago Ixcuintla (Fundación Gonzalo Río Arronte, I. A. P., 2008). Sus principales afluentes son: Río Canatlán, Río El Tunal y Santiago Bayacora, a partir de la confluencia con este último toma el nombre de Río Durango y su principal afluente es el Río Suchil, al pasar por el poblado de Mezquitla, Durango. Toma este nombre conservándolo a lo largo de su recorrido por este estado, contando con dos afluentes importantes como son los Arroyos Dolores y Colorado. Dentro del Estado de Nayarit el Río conserva una dirección sur, y recibe por su margen derecha cerca del poblado de San Blasito al Río San Pedro, a partir de esta confluencia toma el nombre de Río San Pedro, pasando por el poblado de San Juan Corapan y cambiando bruscamente de dirección sur a poniente hasta desembocar en la Laguna Grande de Mexcaltitán. Cuenta con dos presas de bajo caudal y arroyos importantes que son afluentes del río San Pedro: El Tenamache, El Zopilote y El Naranja (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2009). Su cauce principal desde su nacimiento hasta la desembocadura tiene una longitud de 255 kilómetros, drenando un área de cuenca de 26,480 km². En el estado de Nayarit, se localizan cuatro regiones hidrológicas con sus respectivas cuencas, a continuación la tabla que las describe.

TABLA 8
Regiones Hidrológicas del Estado de Nayarit

<i>Hidrografía</i>	
Región Presidio-San Pedro	Cuenca: R. San Pedro R. Acaponeta
Región Lerma-Santiago	Cuenca: R. Santiago-Aguamilpa R. Bolaños R. Huaynamota
Región Huicicila	Cuenca: R. Huicicila-San Blas
Región Ameca	Cuenca: R. Ameca-Atenguillo R. Ameca-Ixtapa

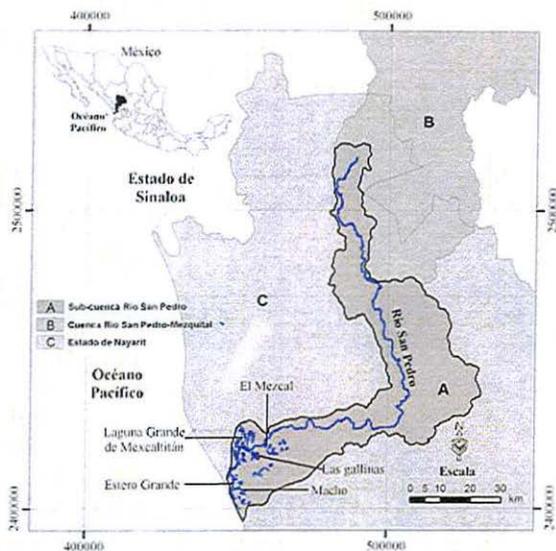
Fuente: INEGI, Información Geográfica, Regiones Hidrológicas del Estado de Nayarit.

FIGURA 2
Regiones Hidrológicas del Estado de Nayarit



Fuente: INEGI, Información Geográfica, Regiones Hidrológicas del Estado de Nayarit.

FIGURA 3
 Limite geográfico de la cuenca Río San Pedro en el estado de Nayarit



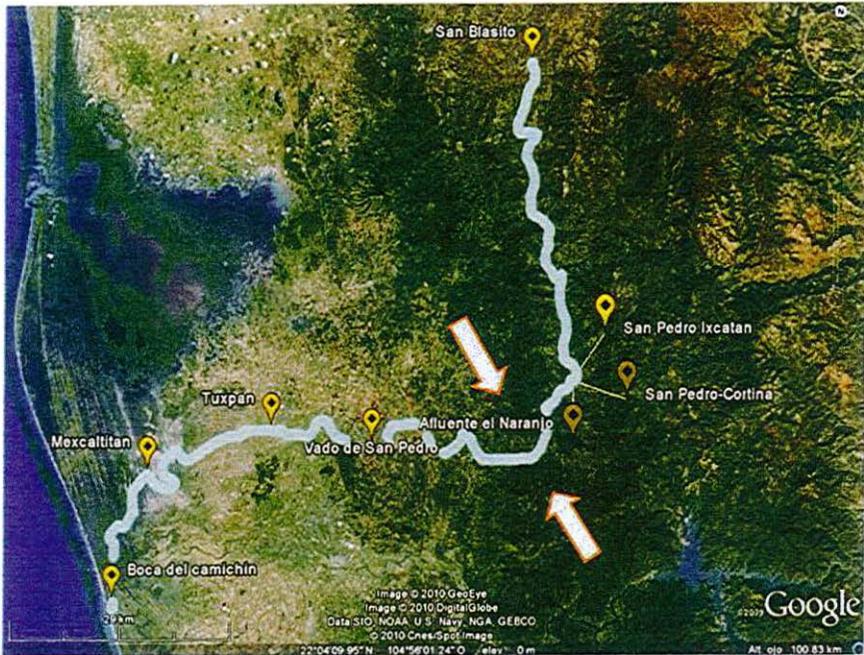
Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 2005.

El valle del río San Pedro constituye un corredor biótico donde la vegetación y fauna pueden dispersarse desde la zona costera al interior del continente y viceversa, conformándose un ecosistema terrestre homogéneo y en algunas regiones en buen estado de conservación. El ecosistema acuático, presentaría también buenos niveles de integridad y funcionalidad, siendo de relevancia la evaluación que una obra de retención (y sus efectos indirectos) en la región del cambio de topografía, aguas arriba de la planicie costera, pudiera generar como barrera fragmentadora sobre los procesos de migración de especies, de transporte de sedimentos, transporte de nutrientes, pulsos de inundación, y en los parámetros de cantidad y calidad del agua (CFE, 2008).

2.1 Descripción del Proyecto Hidroeléctrico (PH) Las Cruces en el estado de Nayarit

El río San Pedro-Mezquital es una cuenca aproximada de 26 000 km², drena al Océano Pacífico un volumen medio anual superior a los 2 800 Mm³ (89 m³/s) y es una de las corrientes más importantes de la región. Presenta en su parte alta una gran meseta de aproximadamente 15 670 km², siendo un 60% de la superficie total de la misma. En esta zona se ubica la ciudad de

FIGURA 4
Ubicación satelital de P.H. "Las Cruces"



Se localiza en la parte central del estado de Nayarit, a 65 km al noreste de la ciudad de Tepic y a 25 km al noreste del poblado de Ruíz (Cabecera Municipal y Estación del Ferrocarril Central del Pacífico), en los municipios de Ruíz y Rosamorada. Sobre el río San Pedro, se ubica inmediatamente aguas debajo de la confluencia con el arroyo Rancho Viejo a 6 km aguas arriba de la confluencia con el arrollo El Naranjo y a 38 km de cruce del río San Pedro con la vía del ferrocarril (CFE, 2008).

Durango y es donde se han construido varias presas (San Bartolo, Peña del Águila, Guadalupe Victoria, Sta. Elena y presa Francisco Villa o El Bosque) que aprovechan prácticamente toda el agua de esa región para el riego de terrenos agrícolas y que controlan las avenidas generadas en la misma. El 90% del escurrimiento que drena el río San Pedro al Océano Pacífico se genera en el último 40% de la cuenca; porción que atraviesa la Sierra Madre Occidental y donde el promedio anual de lluvias es de aproximadamente 700 mm, con superficies propias como las del proyecto en que la altura media de precipitación llega a 1 600 mm/año. Esto ha ocasionado que en la planicie costera de Nayarit se presenten periódicamente avenidas hasta de $9\,032\text{ m}^3/\text{s}$ por efecto de tormentas tropicales y ciclones, provocando grandes daños al desarrollo económico de la región y a sus habitantes, que constantemente han solicitado a los gobiernos federal y estatal una obra que permita el pleno control de las crecientes del río San Pedro (CFE, 2008).

Para el aprovechamiento de los escurrimientos y el control de avenidas en la cuenca baja del río San Pedro, por acuerdo entre la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en el año de 1995 se propuso la construcción de una obra hidráulica de usos múltiples denominada P.H. Las Cruces (Hernández, Ronzón y López, 2008), actualmente el proyecto se encuentra en etapas del diseño (CFE, 2008). Las presas en México y en el mundo se han impuesto como el modelo de desarrollo para alimentar y abastecer de agua y energía a una creciente población mundial que se mueve del campo a las grandes ciudades (Espinoza Saucedo y Gómez Godoy, 2009).

En México, la CFE es la responsable de planear, diseñar y construir la infraestructura necesaria para generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica que el país demanda. Una de las fuentes de energía renovable más atractiva es la hidroelectricidad (Marengo Mogollón, 2010).

De la construcción y puesta en marcha de la P.H. Las Cruces se esperan los siguientes beneficios (Hernández, Ronzón y López, 2008):

- Abatimiento hasta de un 53% de los picos de las avenidas del río San Pedro, que han afectado temporalmente una planicie superior a las 70 000 ha, con valiosas tierras de cultivo, marismas, vías de comunicación, bordos de protección y 18 zonas urbanas con una población superior a los 40 000 habitantes.
- Generación media anual de 801 GWh de energía eléctrica (601 de energía firme y 200 GWh/año de secundaria), instalando una central hidroeléctrica con factor de planta promedio de 0,19 y una potencia total de 480 MW.
- Consolidación y posible ampliación de las 2 800 ha del distrito de riego No. 49, ubicado en la margen derecha del río San Pedro, mediante la construcción de la presa reguladora asociada a la misma hidroeléctrica.
- Favorecimiento al desarrollo de otras actividades productivas y recreativas en el embalse de 2 372 Mm³ que se formará con una cortina de 164 m de altura.

El esquema de obras propuesto para este aprovechamiento está integrado por una cortina de concreto compactado con rodillo (CCR), de 176 m de altura máxima (incluyendo 12 m de desplante) y volumen total de 3,2 Mm³; una obra de desvío en canal trapecial de 32 m de plantilla, ubicado en la margen derecha; un vertedor controlado con tres compuertas radiales de 10 x 16 m, adosado a la cortina y con ancho de plantilla convergente de 37,60 m a 31 m; una obra de generación con casa de maquinas al exterior y a pie de presa, que aloja dos grupos turbogeneradores de 240 MW cada uno y un desfogue en canal a cielo abierto de 37,10 m de ancho de plantilla.

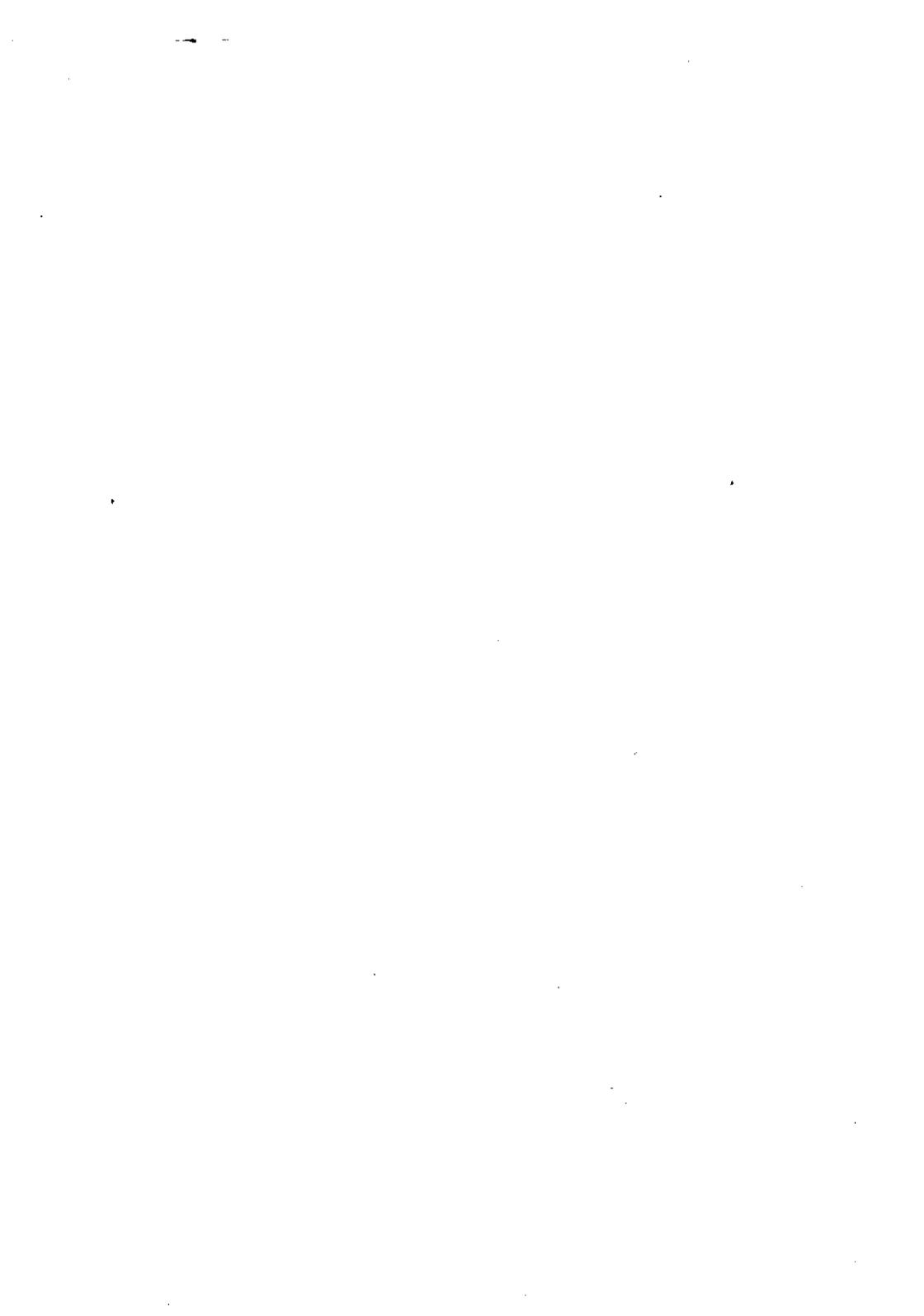
En el desarrollo de las obras del P.H. Las Cruces se estudiaron y analizaron cinco probables sitios de boquilla en un tramo del río de 30 km, antes de entrar a la planicie costera de Nayarit. De éstos se escogió el de Las Cruces, ubicado 65 km en línea recta al noroeste de la ciudad de Tepic, capital del estado de Nayarit, y a 25 km al noreste de la cabecera municipal de Ruiz (estación del ferrocarril del Pacífico) (Hernández, Ronzón y López M., 2008).

3

Planteamiento del problema

La importancia de cuidar y conservar los cuerpos de agua radica en el papel que estos tienen en los ecosistemas, ya que ayudan como suministro de agua de ciudades y cabeceras municipales, pesca, recreación, belleza del entorno, regulador de clima, hábitat de especies endémicas y migratorias, control de inundaciones y generación hidroeléctrica. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, utilizan el medio principalmente para enfriar o limpiar maquinaria, procesar materia prima o alimentos, desechos agrícolas, fertilizantes y aguas negras, generan una gran cantidad de residuos muchos de los cuales van a parar al agua. Las descargas de estas pueden contener elementos de difícil remoción y asimilación en los sistemas de tratamiento biológico y en los ecosistemas acuáticos.

El río San Pedro procede de una de las cuencas hidrológicas más importantes de tres estados de la República (Durango, Nayarit y Zacatecas) para las poblaciones y sus principales actividades económicas, por ello es necesario realizar estudios en términos del agua dadas las condiciones de contaminación en el río, tomando en cuenta, además, la construcción de la hidroeléctrica "Las Cruces", ya que en términos de gestión del agua es un evento de gran importancia dadas sus alteraciones al sistema hídrico y su biodiversidad, por lo que se plantea en este proyecto la evaluación de la calidad del agua en este sistema de cuenca hidrológica, que ya presenta daños importantes a la calidad. Conocer esto constituye un aporte de información de carácter ambiental y contribuye al diagnóstico de cada una de sus cuencas.



4

Objetivos

Objetivo General

Realizar un estudio de contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro, previo a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México.

Objetivos Particulares

1. Identificar la contaminación fisicoquímica y bacteriológica del río San Pedro en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico Las Cruces, en el estado de Nayarit.
2. Identificar poblaciones de plancton (fitoplancton y zooplancton) en el sitio descrito
3. Calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) para los sitios estudiados.
4. Evaluar los resultados con la normativa vigente, enumerando las limitantes de uso derivados de la calidad del agua estudiada.
5. Identificar y caracterizar un estudio elemental de metales pesados en los sedimentos del río San Pedro de Nayarit.



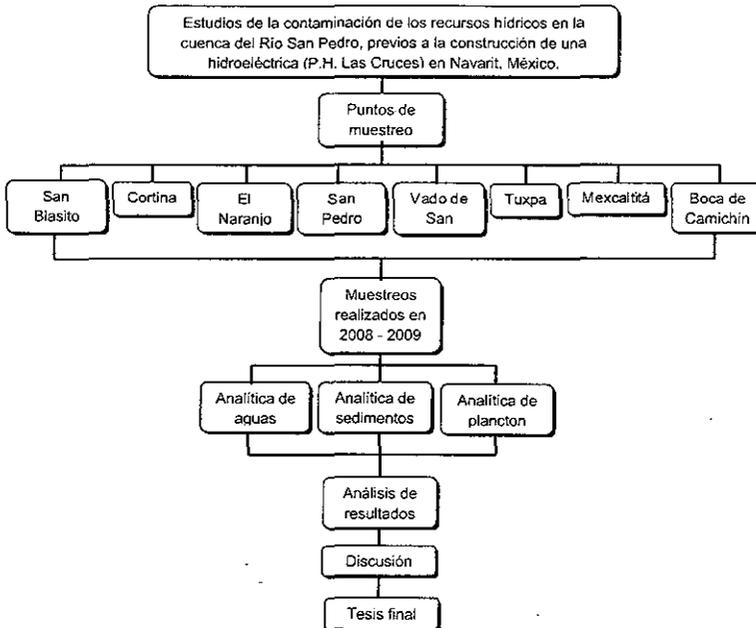
5

Metodología

Las características metodológicas del proyecto comprenden tres grandes fases: (1) muestreo de agua y sedimento en los puntos seleccionados, (2) análisis de agua, sedimentos y plancton, y finalmente (3) la integración y discusión de los resultados.

El diseño metodológico de la investigación es de tipo analítico descriptivo, y el diagrama de flujo se presenta a continuación:

FIGURA 5
Diagrama de flujo



5.1 Localización del área de estudio

Para los muestreos se seleccionaron 8 puntos representativos del área de estudio, los cuales se denominaron: San Blasito, Cortina, Afluente el Naranjo, San Pedro Ixcatán, Vado de San Pedro, Tuxpan, Mexcaltitán y Boca del Camichín. Se realizaron 3 repeticiones de cada muestreo; el primero se realizó en octubre y noviembre de 2008; el segundo en junio de 2009 y el tercero en septiembre de 2009.

Se seleccionaron los puntos de muestreo siguiendo la dirección del río y aportes de cargas contaminantes de las poblaciones. La toma de muestra se llevó a cabo durante un periodo estacional lluvioso.

TABLA 9
Puntos de muestreo

	<i>Municipio</i>	<i>Fecha muestreos</i>	<i>Coordenadas</i>	
			N	W
<i>Punto 1: San Blasito</i>	Amatlán de Cañas	1) 10/10/2008 2) 13/06/09 3) 10/09/2009	22° 23' 16.4"	105° 01' 52.4"
<i>Punto 2: Cortina</i>	Amatlán de Cañas	1) 16/11/2008 2) 13/06/09 3) 10/09/2009	22° 02' 33.3"	104° 55' 55.3"
<i>Punto 3: El Naranjo</i>	Ruiz	1) 17/11/2008 2) 13/06/09 3) 10/09/2009	22° 02' 29.5"	104° 55' 55.7"
<i>Punto 4: San Pedro Ixcatán</i>	Ruiz	1) 16/11/2008 2) 13/06/09 3) 10/09/2009	22° 02' 28.09'	104° 56' 2.17"
<i>Punto 5: Vado de San Pedro</i>	Ruiz	1) 16/11/2008 2) 13/06/09 3) 10/09/2009	21° 56' 55.3"	105° 10' 49.8"
<i>Punto 6: Tuxpan</i>	Tuxpan	1) 17/11/2008 2) 13/06/09 3) 10/09/2009	21° 57' 08.5"	105° 18' 39.2"
<i>Punto 7: Mexcaltitán</i>	Santiago Ixcuintlá	1) 17/11/2008 2) 13/06/09 3) 10/09/2009	21° 53' 17.9"	105° 27' 44.5"
<i>Punto 8: Boca de Camichín</i>	Santiago Ixcuintlá	1) 17/11/2008 2) 13/06/09 3) 10/09/2009	21° 44' 32"	105° 29' 22.1"

FIGURA 6
Ubicación en foto satelital de los puntos de muestreo



Para el estudio de la calidad del agua, sedimentos y poblaciones fitoplanctónicas y zooplanctónicas, se aplicaron los siguientes criterios metodológicos, los cuales en su mayoría son metodologías de normas oficiales mexicanas y/o métodos internacionalmente aceptados.

5.2 Protocolo de muestreo de agua y sedimentos

Actualmente no existen normas absolutas para la elección de puntos para recoger las muestras ya que esa selección está íntimamente relacionada a las condiciones locales, que varían de acuerdo al lugar. Para el presente trabajo se localizó los puntos estratégicos para muestreo por medio de mapas cartográficos, GPS, fotografías satelitales y visitas a los propios lugares.

Se determinó en cada punto de muestreo parámetros hidrológicos y meteorológicos en campo: coordenadas, hora, altitud (msnm), presión atmosférica (Hpa), viento (m/s), nubosidad (%), humedad relativa (%), temperatura de agua (°C) y temperatura ambiental (°C), salinidad (%), pH, profundidad (m), transparencia, color aparente, conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$), sólidos disueltos totales (mg/L), materia flotante, presencia de peces, olor y oxígeno disuelto.

El muestreo de agua se realizó según los lineamientos técnicos establecidos en los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, (APHA, AWWA-WDCF 1992),

y los lineamientos técnicos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980 "Cuerpos receptores, muestreo". Las especificaciones técnicas para cada uno de los parámetros a evaluar se resumen en la **tabla 10**.

La totalidad de las muestras se tomaran en frascos de plástico y vidrio, se preservaron las fracciones y su traslado al laboratorio se realizo manteniendo una temperatura menor a 4 grados centígrados.

TABLA 10

Especificaciones técnicas de muestreo y preservación del agua.
NOM-AA-14-1980. Abreviaturas; p (plástico), pH (potencial de hidrogeno), s (vidrio enjuagado con solventes orgánicos; interior de la tapa del envase recubierta con teflón), v (vidrio) ne (no especificado en la norma)

Parámetro	Material de envase	Volumen mínimo (ml)	Preservación	Tiempo máx. de almacén
2,4-D	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/L; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Alcalinidad total	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Aluminio	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH < 2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH < 2	180 d
Arsénico	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Benceno	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/L; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Cadmio	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH < 2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH < 2	180 d
Cianuros	p,v	1000	Adicionar NaOH a pH > 12; refrigerar de 4 a 10° C en la oscuridad.	14 d
Cloruros	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Clordano	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/L; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Coliformes				
Color	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Conductividad	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Cromo	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH < 2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH < 2	180 d
DBO5	ne			
DQO	ne			
Dureza total	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d

<i>Parámetro</i>	<i>Material de envase</i>	<i>Volumen mínimo (ml)</i>	<i>Preservación</i>	<i>Tiempo máx. de almacén</i>
<i>Epóxido de heptacloro</i>	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/L; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
<i>Fenoles</i>	p,v	300	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C	28 d
<i>Fósforo</i>	ne			
<i>Grasas y aceites</i>	ne			
<i>Heptacloro</i>	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/L; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
<i>Hexaclorobenceno</i>	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/L; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
<i>Hierro</i>	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	180 d
<i>Huevos de Helminthos</i>	p	5000	Refrigerar a 4°C	60 d
<i>Lindano</i>	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/L; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
<i>Manganeso</i>	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	180 d
<i>Metales en general</i>	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	180 d
<i>Nitratos</i>	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
<i>Nitritos</i>	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
<i>Nitrógeno amoniacal</i>	p,v	500	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
<i>Nitrógeno Total</i>	p,v	500	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2 refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
<i>pH</i>	p,v	—	Analizar inmediatamente	—
<i>Plomo</i>	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	180 d
<i>Plaguicidas</i>	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/L; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
<i>Sólidos Totales</i>	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d

<i>Parámetro</i>	<i>Material de envase</i>	<i>Volumen mínimo (ml)</i>	<i>Preservación</i>	<i>Tiempo máx. de almacen</i>
<i>Sólidos Disueltos Totales</i>	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
<i>Sólidos sedimentables</i>	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
<i>Sólidos suspendidos Totales</i>	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
<i>Sulfatos</i>	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
<i>Sustancias activas al azul metileno</i>	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
<i>Temperatura</i>	p,v	—	Determinar inmediatamente	—
<i>Turbiedad</i>	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h

5.3 Analítica de agua

Las muestras de agua se analizaron conforme a los procedimientos establecidos para cada parámetro en la normativa oficial mexicana, así como a los métodos establecidos por la APHA-AWWA-WDCF (1992). Los parámetros a evaluar y la metodología realizada se presentan en la **Tabla 11**.

TABLA 11
Parámetros evaluados en agua

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Método de análisis</i>
2,4-D	mg/L	NMX-AA-071-1981
Aldrin	mg/L	NMX-AA-071-1981
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	NMX-AA-36-2001
Aluminio	mg/L	EPA-6010B
Arsénico	mg/L	EPA-6010B
Benceno	mg/L	EPA-6010B
Cadmio	mg/L	EPA-6010B
Calcio	mg/L	EPA-6010B
Cianuros	mg/L	NMX-AA-058-SCFI-2001
Cloruros	mg/L	NMX-AA-073-SCFI-2001
Clordano	mg/L	NMX-AA-071-1981
Coliformes	NMP/100ml	NOM-112-SSA1-1994
Color	Esc. Pt.-Co.	NMX-AA-045-SCFI-2001
Conductividad	µS/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Cromo total	mg/L	EPA-6010B
D.Q.O.	mg/L	NMX-AA-30-SCFI-2001
DBO5	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001
Durezas	mg/L CaCO ₃	NMX-AA-072-SCFI-2001
Epoxido de heptacloro	mg/L	NMX-AA-071-1981

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Método de análisis</i>
Fenoles	mg/L	NMX-AA-050-SCFI-2001
Fosforo ortofosfatos	mg/L	NMX-AA-073-SCFI-2001
Fósforo	mg/L	NMX-AA-063-SCFI-2001
Grasas y Aceites	mg/L	NMX-AA-005-SCFI-2000
Heptacloro	mg/L	NMX-AA-071-1981
Hexaclorobenceno	mg/L	NMX-AA-071-1981
Hierro	mg/L	EPA-6010B
Lindano	mg/L	NMX-AA-071-1981
Manganeso	mg/L	EPA-6010B
Mercurio	mg/L	EPA-6010B
Metoxicloro	mg/L	NMX-AA-071-1981
Nitratos	mg/L N-NO ₃	NOM-AA-079-SCFI-2001
Nitritos	mg/L N-NO ₂	EPA-354.1
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001
Nitrógeno total	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001
Oxígeno Disuelto	mg/L	EPA 4500-O-C
pH	pH	NMX-AA-008-SCFI-2001
Plomo	mg/L	EPA-6010B
S.A.A.M.	mg/L	NMX-AA-039-SCFI-2001
Sólidos Totales	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Totales.	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos sedimentables	mg/L	NMX-AA-004-2000
Sólidos Suspendidos Totales.	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sulfatos	mg/L SO ₄	NMX-AA-074-1981
Temperatura	°C	EPA 2550-B
Turbiedad	UTN	NMX-AA-038-SCFI-2001

5.4 Analítica de sedimentos

Para el muestreo y análisis de sedimentos se aplicaron las especificaciones de la NMX-AA-014-1980, CUERPOS RECEPTORES - MUESTREO. DECLARATORIA DE VIGENCIA DOE. 05-09-1980, para el análisis de semivolátiles lo establecido en la NMX-AA-145-SCFI-2008 SUELOS-HIDROCARBUROS FRACCIÓN MEDIA POR CROMATOGRAFÍA DE GASES CON DETECTOR DE IONIZACIÓN DE FLAMA-MÉTODO DE PRUEBA. D.O.F. 26-MARZO-2009 - Marzo 31, 2009 para determinación de metales se aplico los lineamiento de la NMX-AA-051-SCFI-2001. ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE METALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES, Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.

5.4.1 Análisis de sedimentos mediante espectrofotometría de fluorescencia

Se realizó una identificación de metales pesados en sedimentos aplicando la técnica de fluorescencia por rayos X utilizando un equipo de espectrofotometría de fluorescencia de rayos X modelo S4 EXPLORER.

La espectrometría de RX basado en el método de fluorescencia no requiere de aditivos de reactivos químicos para el análisis; es considerada una técnica analítica no destructiva (se refiere a que la muestra no sufre daños al analizarla), es apta para todo tipo de muestras líquidas y sólidas, en la cual se pueden determinar elementos químicos comprendidos entre el Mg y U, en su forma elemental o en forma de óxidos, por medio de análisis semicuantitativos y cuantitativos (RIGAKU, 2009- 2010).

FIGURA 7
Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X



Modelo S4 EXPLORER

Las muestras fueron envasadas en recipientes plásticos, se preservaron a una temperatura de 4°C hasta su procesamiento en el laboratorio. Se analizaron por espectrometría de rayos X en el equipo S4 EXPLORER, por medio de el programa "S4tools", mediante métodos semicuantitativos y cuantitativos. Con un tiempo de análisis de 10 minutos para los posibles elementos mayoritarios o bioelementos, es decir, elementos biológicamente importantes para el ser humano (Ca, P, S, K, Cl y Mg); y 15 minutos para los elementos minoritarios u oligoelementos (bario, estroncio, circonio, niobio, itrio, titanio, molibdeno, manganeso, hierro, y todos los elementos que conforman el segmento de transición de la tabla periódica), estos son los elementos químicos imprescindibles para la vida y constituyen aproximadamente el 0,1% de la materia orgánica (Luengo, 2005).

Se puede encontrar presencia en la muestra de todos los elementos de la tabla periódica con un peso atómico superior o igual al del flúor.

Para la cuantificación elemental en una muestra se requieren de estándares; eso es, un determinado elemento en algún material en concentraciones conocidas. Los estándares se utilizan para hacer una comparación directa con la muestra a analizar. Esto se realiza mediante la comparación con una curva de calibración confeccionada (Melénez Pizarro y Camacho Dávila, 2009).

5.5 Protocolo de muestreo y análisis de plancton

Los sitios de muestreo son los mismos que se describen en el apartado para calidad del agua, se realizaron tres muestreos superficiales, a excepción del pozo rehilete, las muestras plancónicas fueron tomadas siguiendo los lineamientos técnicos descritos en APHA (1992). Para el análisis cuantitativo las muestras se obtuvieron por medio de filtración de 72 litros de agua una red de plancton con apertura de malla de 50 micras, se filtra la muestra para la obtención de un concentrado final, el material colectado se situó en frascos de plástico etiquetados con los datos correspondientes (lugar de muestreo, fecha, estación de muestreo, volumen) posteriormente se preservó la muestra con formaldehído al 10 % v/v, proporción 1:10. Las muestras se procesaron, se realizó un análisis cualitativo, observación directa de muestra biológica por triplicado, observándose los organismos en vivo para la determinación de género- especie y la elaboración de un inventario taxonómico de fitoplancton y zooplancton.

El análisis cuantitativo se realizó utilizando un microscopio compuesto Carl Zeiss Axio-star y una cámara de Palmer de 0.1 ml mediante la técnica de conteo directo de organismos por litro. El cálculo aplicado fue el siguiente:

$$\text{No. /mL} = \frac{C * 1000 \text{mm}^3}{L * D * W * S}$$

TABLA 12
Cálculo cuantitativo de fitoplancton

C=	numero de organismos contados	<i>Length</i>	50	mm
L=	largo de la celda (mm)	<i>Depth</i>	1	mm
D=	profundidad de la celda (mm)	<i>Width</i>	20	mm
W=	ancho de la celda (mm)	<i>Strips</i>	18	
S=	número de líneas contadas	<i>Liters</i>	1	
		<i>ml</i>	1000	

Se realizó el análisis cualitativo de Plancton para la determinación de especies y elaboración del Inventario taxonómico preliminar. La técnica para la realización del análisis cualitativo consiste en la lectura directa por triplicado de la misma muestra, observándose los organismos en vivo, utilizando un microscopio Carls Zeiss Axio-star plus, portaobjetos planos, cóncavos, cámara de Palmer, pipetas Pauster, cubreobjetos, pinzas, vaso de precipitado, para

la observación de estructuras celulares diferenciales de cada grupo taxonómico se utilizaron las siguientes tinturas: Lugol ácido acético para la observación de cloroplastos en cyanophyceas, azul de crésil para mucilago de vainas de cyanophyceas, rojo congo definición de pared celular y núcleo de euglonophyceas, naranja de metilo y verde brillante para citoplasma de todas las divisiones, nigrosina para la diferenciación de vacuolas de gas, vaina y citoplasma de células en general, tinta china para la observación de flagelos, cilios, espinas de células en general.

TABLA 13
Especificaciones técnicas de muestreo de plancton

<i>Parámetro</i>	<i>Material de envase</i>	<i>Volumen mínimo (ml)</i>	<i>Preservación</i>	<i>Tiempo máx. de almacén</i>
Plancton muestra viva	Plástico	100	Refrigerar de 4°C	inmediato
Plancton muestra preservada	Plástico	100	Formol al 4-10 % v/v.	7 días

TABLA 14
Parámetros evaluados del plancton

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Método de análisis</i>
Plancton	Organismos planctónicos / litro.	Recuento celular APHA-AWWA-WPCF,1980 Métodos Estándar

5.6 Cálculo del índice de calidad del agua

Se aplicó la metodología descrita por Martínez de Basarán (1979), la cual se detalla en el **anexo 10.2**.

5.7 Legislación utilizada en el análisis

Los datos obtenidos en el estudio se compararon con los límites establecidos en la Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Y los establecidos en el Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89, Fecha de publicación en Diario Oficial 13 de diciembre de 1989, Fecha de entrada en vigor 14 de diciembre de 1989.

6

Resultados

6.1 Resultados de análisis de agua

6.1.1 Datos tomados en campo

Se presentan a continuación la ubicación geográfica de los 8 sitios de muestreo así como algunos parámetros fisicoquímicos del agua, y datos meteorológicos tomados en campo.

TABLA 15
Georeferenciación

	<i>Municipio</i>	<i>Coordenadas</i>		
		<i>N</i>	<i>W</i>	
E1	San Blasito	Amatlán de Cañas	22°23'16.4"	105°01'52.4"
E2	Cortina	Amatlán de Cañas	22° 02' 33.3"	104° 55' 55.3"
E3	El Naranjo	Ruiz	22° 02' 29.5"	104° 55' 55.7"
E4	San Pedro Ixcatán	Ruiz	22° 02' 28.09"	104° 56' 2.17"
E5	Vado de San Pedro	Ruiz	21° 56' 55.3"	105° 10' 49.8"
E6	Tuxpan	Tuxpan	21° 57' 08.5"	105° 18' 39.2"
E7	Mexcaltitán	Santiago Ixcuintlá	21° 53' 17.9"	105° 27' 44.5"
E8	Boca de Camichin.	Santiago Ixcuintlá	21° 44' 32"	105° 29' 22.1"

TABLA 16
 Datos tomados en campo, muestreo 1

	<i>pH</i>	<i>Temperatura del agua en °C</i>	<i>Conductividad en µs/cm</i>	<i>Potencial redox en mV</i>	<i>Salinidad (%)</i>	<i>Sólidos disueltos totales en mg/L</i>	<i>Oxígeno disuelto en mg/L</i>	<i>Olor</i>	<i>Materia flotante</i>	<i>Transparencia Secchi en cm</i>
E1	6.87	25.9	105.5	4.3	0	49.6	5.03	O.L.T.	Sedimentos	—
E2	6.66	29.5	82	16.5	0.1	81.7	2.82	Ausente	Ausente	—
E3	7.29	22.5	110.9	-20.4	0.1	54.8	2.46	Ausente	Ausente	—
E4	8.09	26.6	165.6	-71.8	0.1	76.4	3.56	Ausente	Ausente	—
E5	7.17	27.8	182.8	-15.8	0.1	82.8	3.71	Ausente	Ausente	—
E6	7.15	25.7	194.4	-12.3	0.1	91.2	2.33	Ausente	Ausente	50
E7	7.11	28.1	898	5.3	0.4	41.4	3.1	O.L.H.	Hojarasca	10
E8	7.46	28.9	266	-31.8	14.6	1411	1.5	O.L.T. y P.	Vegetación	18

O.L.T. = Olor Ligero a Tierra, O.L.H. = Olor Ligero a Hierba, O.L.P. = Olor Ligero a Pescado

TABLA 17
 Datos tomados en campo, muestreo 2

	<i>pH</i>	<i>Temperatura del agua en °C</i>	<i>Conductividad en µs/cm</i>	<i>Potencial redox en mV</i>	<i>Salinidad (%)</i>	<i>Sólidos disueltos totales en mg/L</i>	<i>Oxígeno disuelto en mg/L</i>	<i>Olor</i>	<i>Materia flotante</i>	<i>Transparencia en cm</i>
E2	8.18	29.9	229	-	0.1	114	4.56	O.L.H.	-	-
E3	7.57	28.1	238	-	0.1	119	4.37	O.L.T.	-	-
E4	8.02	29.9	228	-	0.1	114	4.55	Jabón	Hojas	-
E5	8.05	32.1	274	-	0.1	152	6.14	O.L.H.	-	-
E6	7.7	32.6	306	-	0.1	152	5.8	O.L.T.	Hojas	-
E7	7.6	32.4	56.8	-	27.7	28.4	5.9	-	Hojas	30
E8	7.76	34.5	54.3	-	26.5	27.1	3.7	Pescado	Basura	-

O.L.T. = Olor Ligero a Tierra, O.L.H. = Olor Ligero a Hierba

TABLA 18
 Datos tomados en campo, muestreo 3

	<i>pH</i>	<i>Temperatura del agua en °C</i>	<i>Conductividad en µs/cm</i>	<i>Salinidad (PPM)</i>	<i>Sólidos disueltos totales en mg/L</i>	<i>Oxígeno disuelto en mg/L</i>	<i>Olor</i>	<i>Materia flotante</i>	<i>Transparencia en cm</i>
E2	7.54	26.4	88.7	0	44.3	5.20	O.L.T	Vegetacion, tierra	10
E3	7.68	26.5	94.8	0	47.5	3.99	O.L.T	Ausente	—
E4	7.72	26.7	99.2	0	44.6	5	O.L.T	Ausente	8
E5	7.7	27.1	85	0	43.1	6.55	Inoloro	Ausente	8
E6	7.45	27.5	77.2	0	38.5	4.2	Inoloro	Ausente	8
E7	7.31	31.9	161.6	0.1	80.9	3.28	Inoloro	Ausente	9
E8	7.30	32.1	734	3.4	3.77	3.17	Inoloro	Ausente	15

FIGURA 8

pH

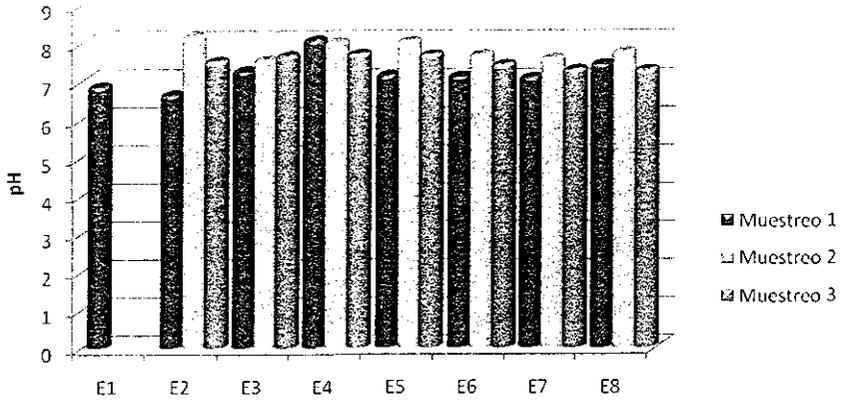
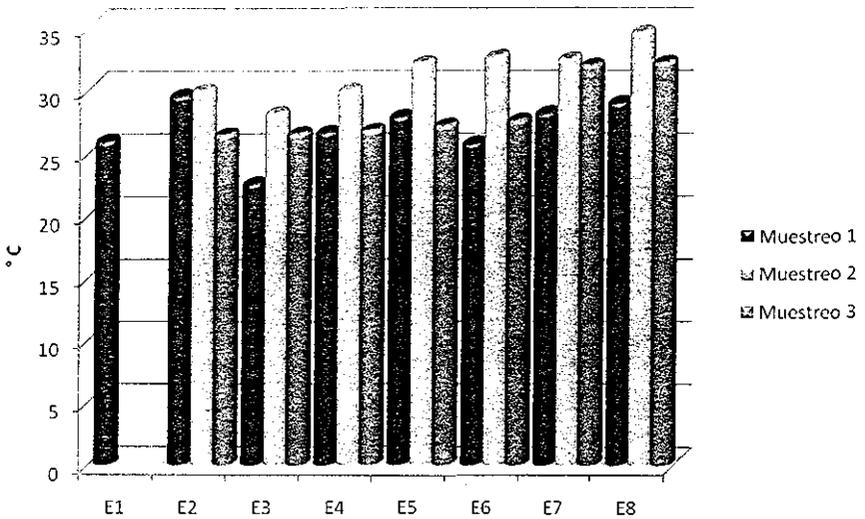
FIGURA 9
Temperatura del agua

FIGURA 10
Conductividad

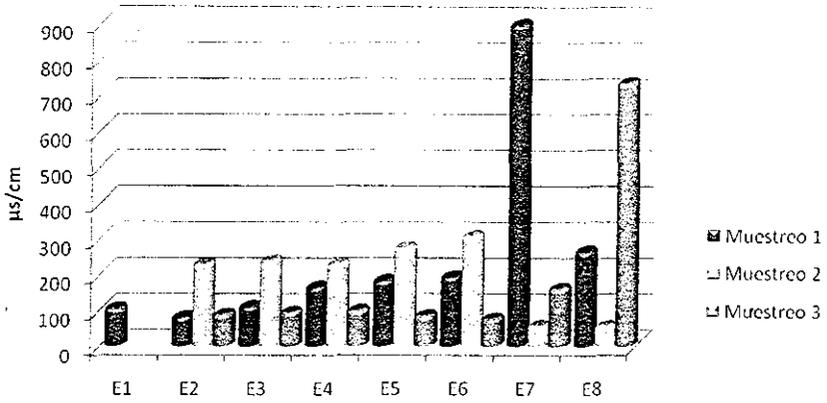


FIGURA 11
Salinidad

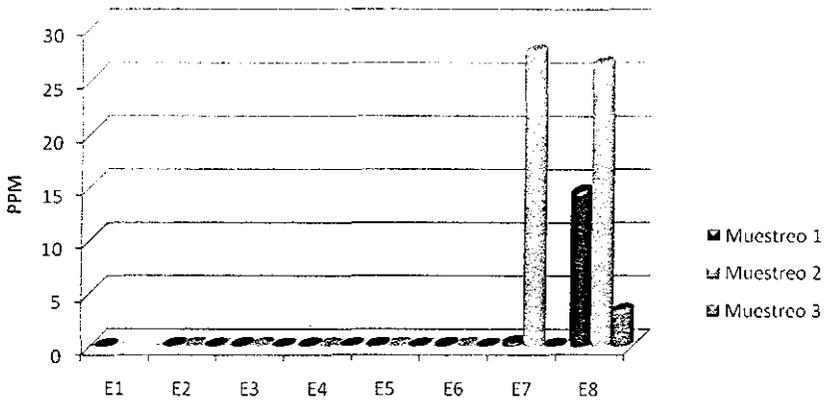


FIGURA 12
Sólidos disueltos totales

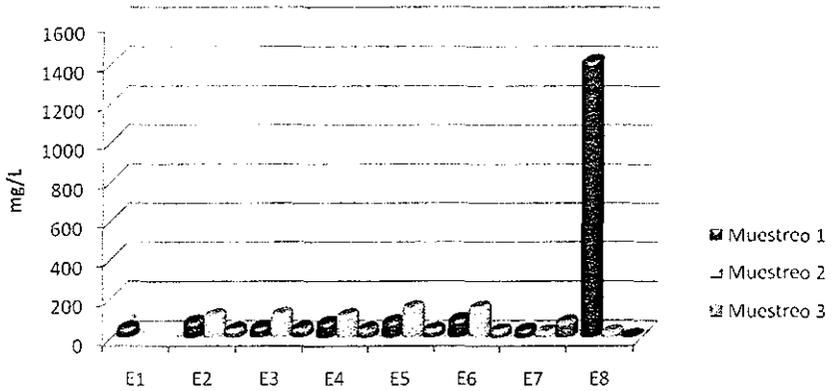


FIGURA 13
Oxígeno disuelto

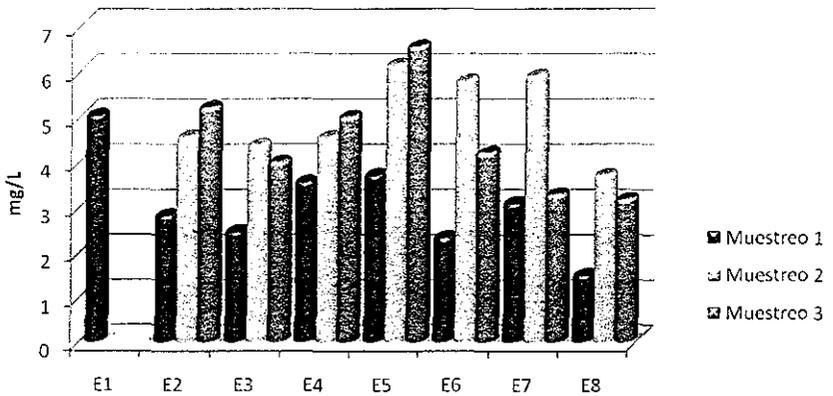


TABLA 19
 Datos meteorológicos, muestreo 1

<i>Sitio de muestreo</i>	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Hora	12:42	14:55	9:55	14:10	17:30	7:45	15:20	1:36
Fecha	10/10/2008	16/11/2008	17/11/2008	16/11/2008	16/11/2008	17/11/2008	17/11/2008	17/11/2008
Temperatura ambiente en °C	30.6	32.4	25.2	34.4	29.6	21.7	32.6	28.9
Viento en m/s	0	1.2	0	0.7	2.5	0	1.5	3
Nubosidad en %	0	0	0	0	0	0	0	0
Altitud en m	222	80	84	83	23	7	4	0
Presión atmosférica en hpa	986.5	1002.9	1008.8	1003.6	1011.5	1015.7	1012.1	1013.3
Punto de evaporación (wb) en %	26.1	24.4	21.4	24	23.9	20.9	24.8	25
Punto de rocío (dp) en %	24.5	21.6	19.5	19.1	21.6	19.8	22.6	24.4
Humedad relativa en %	68.6	54	69	46.2	63	81.5	58.5	76

TABLA 20
 Datos meteorológicos, muestreo 2

<i>Sitio de muestreo</i>	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Hora	08:49	07:53	08:22	11:11	12:11	15:29	14:04
Fecha	13/06/09	13/06/09	13/06/09	13/06/09	13/06/09	13/06/09	13/06/09
Temperatura ambiente en °C	29.9	28.8	29.3	36.7	31.8	32	30.5
Viento en m/s	0	0	0	1.0	4.0	4.5	2.0
Nubosidad en %	10	70	0	75	85	30	20
Altitud en m	99	101	98	33	32	39	32
Presión atmosférica en hpa	1001	1000.8	1001.2	1009.1	1009.1	1008.2	1009.2
Punto de evaporación (wb) en %	25.9	24.3	25.2	26.4	27.9	28.3	27.4
Punto de rocío (dp) en %	23.9	22.6	23.4	25	26.8	27.3	26.1
Humedad relativa en %	71	68.5	70.5	61.4	74.4	73.7	80.8

TABLA 2.1
Datos meteorológicos, muestreo 3

<i>Sitio de muestreo</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>E6</i>	<i>E7</i>	<i>E8</i>
Hora	7:43	8:15	8:50	10:39	11:27	14:40	13:30
Fecha	10/09/09	10/09/09	10/09/09	10/09/09	10/09/09	10/09/09	10/09/09
Temperatura ambiente en °C	25.4	25.4	28.2	27.6	29.7	30.9	31.1
Viento en m/s	0.7	0.5	0.4	0.6	0	1.6	1.6
Nubosidad en %	90	80	100	90	80	50	40
Altitud en m	222	80	84	83	23	7	4
Presión atmosférica en hpa	848	847.9	848	848	848.1	1009.3	848.1
Punto de evaporación (wb) en %	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	26.4	17.3
Punto de rocío (dp) en %	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	25.5	13.1
Humedad relativa en %	48.1	48.1	86.4	89.6	82.5	69.5	78.5

6.1.2 Resultados de análisis microbiológicos

Se presenta la caracterización microbiológica (bacteriológica) que tienen principal importancia desde el punto de vista higiénico (sanitario).

TABLA 22
Análisis microbiológicos, muestreo 1

	<i>Coliformes Totales en NMP/100 ml</i>	<i>Coliformes fecales en NMP/100 ml</i>	<i>Huevos de Helminto en Hv/L</i>
E1	150	15	0
	<i>Coliformes Totales en UFC/100 ml</i>	<i>Coliformes fecales en UFC/100 ml</i>	<i>Huevos de Helminto en Hv/L</i>
E2	12	7	0
E3	62	14	0
E4	142	8	0
E5	20	5	0
E6	11	3	0
E7	26	8	0
E8	78	11	0

TABLA 23
Análisis microbiológico, muestreo 2

	<i>Coliformes Totales en UFC/100 ml</i>	<i>Coliformes fecales en UFC/100 ml</i>	<i>Huevos de Helminto en Hv/L</i>
E1	1,200	200	0
E2	7,900	200	0
E3	2,900	0	0
E4	3,000	200	0
E5	1,800	0	0
E6	200	240	0
E7	4,100	>250	0

TABLA 24
Análisis microbiológico, muestreo 3

	<i>Coliformes Totales en UFC/100 ml</i>	<i>Coliformes fecales en UFC/100 ml</i>	<i>Huevos de Helminto en Hv/L</i>
E2	20,000	>250	0
E3	40,000	>250	0
E4	78,100	23,100	0
E5	45,000	>250	0
E6	20,000	>250	0
E7	103,000	24,000	0
E8	30,000	>250	0

FIGURA 14
Coliformes totales

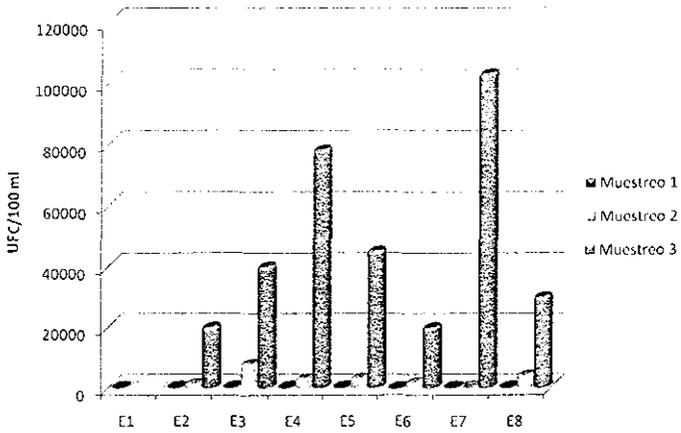
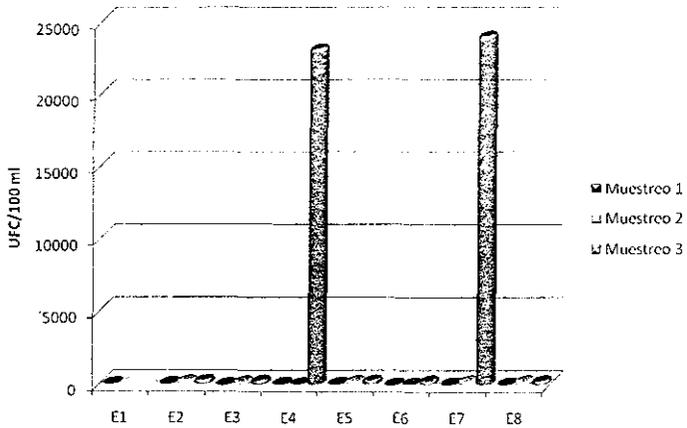


FIGURA 15
Coliformes fecales



6.1.3 Resultados de fisicoquímicos

Para un contaminante, el grado de toxicidad potencial y su biodisponibilidad presente en un ambiente depende en una parte de la interrelación de los factores físicos y químicos del agua. Las variables fisicoquímicas que proporcionan una medición instantánea de la condición del agua.

TABLA 25
Resultados fisicoquímicos (mg/L), muestreo 1

	Cianuros	Dureza total	Cloruros	Fenoles	Nitrógeno amoniacal	Fluoruros	Sulfatos	Sólidos sedimentables
E1	0	43.7	4.96	0	0	0.51	26.707	0.5
E2	0	30.16	1.38	0.015	<0.100	0.14	5.14	<0.1
E3	0	21.84	0.92	0	4.25	<0.10	3.26	<0.1
E4	0	30.16	0.46	0.007	<0.100	0.6	3.66	<0.1
E5	0	31.2	1.38	0.032	<0.100	0.6	4.05	<0.1
E6	0	36.4	1.84	0.02	2.267	0.62	7.18	<0.1
E7	0	67.6	1935.57	0.046	0.1	0.09	95.32	0.1
E8	0	6552	78667.09	0.002	<0.100	0.61	587.93	0.1

(continuación fisicoquímicos)	sólidos totales	sólidos suspendidos totales	sólidos disueltos	SAAM	Color (Unid. Co-Pt)	Turbiedad (UTN)	Clorofila (mg/m ³)	Grasas y aceites (mg/L)	Alcalinidad total (mg/L, CaCO ₃)
E1	822	404	0	0	<50	670	0	<0.10	80.96
E2	160	20	81.7	<0.06	15	4.23	3.94	<10	98.4
E3	116	12	54.8	<0.07	10	2.3	2.55	<10	69.7
E4	182	8	76.4	<0.08	10	3.32	1.86	<10	87.1
E5	206	14	82.8	<0.09	10	3.65	0.99	<10	98.4
E6	208	24	91.2	<0.10	10	4.21	1.15	39	104.55
E7	660	66.6	41.4	0.3051	>50	40	0	527	108.65
E8	19312	266.67	1411	0.34	30	8.8	0	18	138.36

TABLA 26
Resultados fisicoquímicos (mg/L), muestreo 2

	Cianuros	Dureza total	Cloruros	Fenoles	Nitrógeno amoniacal	Fluoruros	Sulfatos	Sólidos sedimentables
E2	0	27.612	<0.1	0	0.71	0.29	5.419	<0.1
E3	0	40.36	0.932	0	<0.100	0.291	5.68	<0.1
E4	0	30.8	2.8	0	<0.100	1.41	5.45	<0.1
E5	0	29.74	7.925	0	0.24	1.58	8.95	<0.1
E6	0	39.294	5.13	0	<0.1	1.5251	9.0685	<0.1
E7	0	3462.12	19112.87	0	<0.1	1.44	2672.1	<0.1
E8	0	3047.94	17760.98	0	0.12	1.44	2457	<0.1

<i>(continuación fisicoquímicos)</i>	<i>Sólidos totales</i>	<i>Sólidos suspendidos totales</i>	<i>Sólidos disueltos totales</i>	<i>SAAM</i>	<i>COLOR (Unid. Co-Pt)</i>	<i>Turbiedad (UTN)</i>	<i>Clorofila (mg/m³)</i>	<i>Grasas y aceites (mg/L)</i>	<i>Alcalinidad total (mg/L, CaCO₃)</i>
E2	36	12	114	0.0509	10	1.09	0.16	8.68	118.272
E3	188	20	119	0.0689	10	0.5	0.89	7.27	120.384
E4	160	24	114	0.09	10	0.6	0.4	6.06	132
E5	268	828	152	0.2013	10	0.85	0.87	77.8	129.89
E6	196	15	152	0.0946	10	4.5		13.2	14.69
E7	43609	1700	28.4	0.16	15	2.85		2.8	154.18
E8	1672	1508	27.1	0.1233	15	2.19		3.7	134.112

TABLA 27
Resultados fisicoquímicos (mg/L), muestreo 3

	<i>Cianuros</i>	<i>Dureza total</i>	<i>Cloruros</i>	<i>Fenoles</i>	<i>Nitrógeno amoniacal</i>	<i>Fluoruros</i>	<i>Sulfatos</i>	<i>Sólidos sedimentables</i>
E2	0	743.4	1.86	0.4984	<0.1	0.79	0.68	1.4
E3	0	18.05	1.39	0.2952	<0.1	0.79	0.68	0.3
E4	0	16.99	1.39	0.2625	<0.1	0.3	0.99	1
E5	0	10.62	0.93	0.5787	<0.1	0.2	1.06	1
E6	0	11.682	0.93	0.7349	<0.1	0.07	1.3456	1
E7	0	18.05	13.97	0.6801	<0.1	0.1	2.6547	0.1
E8	0	467.28	27576.13	0.4061	<0.1	0.8	217.57	0.2

<i>(continuación fisicoquímicos)</i>	<i>Sólidos totales</i>	<i>Sólidos suspendidos totales</i>	<i>Sólidos disueltos totales</i>	<i>SAAM</i>	<i>Color (Unid. Co-Pt)</i>	<i>Turbiedad (UTN)</i>	<i>Clorofila (mg/m³)</i>	<i>Grasa y aceites (mg/L)</i>	<i>Alcalinidad total (mg/L, CaCO₃)</i>
E2	652	76	576	0	75	215	0.48	1.32	85.68
E3	186	48	138	0	100	75	0	2.18	87.72
E4	444	290	154	0	100	185	0	2.56	83.64
E5	512	350	162	0	100	255	0	3.21	77.52
E6	614	150	464	0	125	635	0.26	2.51	65.28
E7	280	100	180	0	100	210	3.5	9.15	83.64
E8	5510	976	4534	0	1256	89	0	1.1	134.64

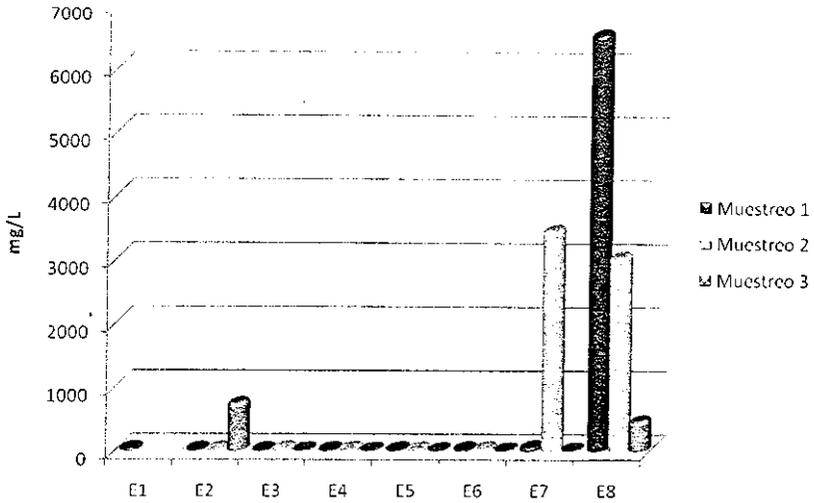
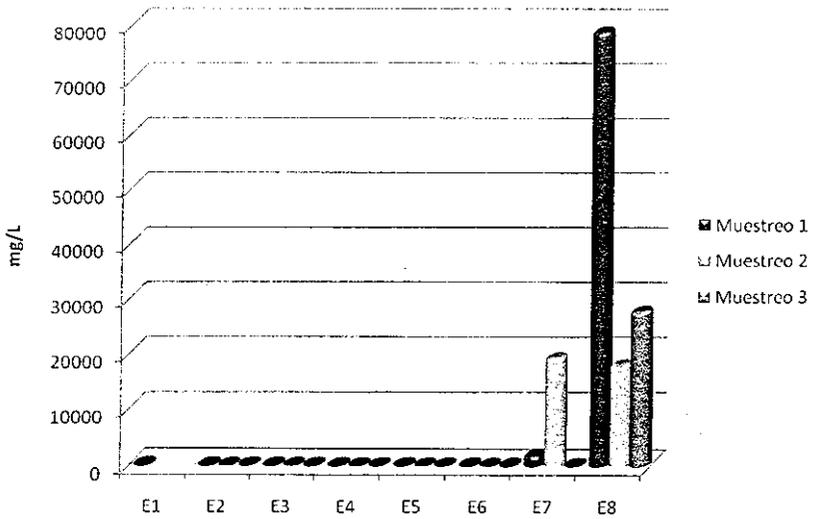
FIGURA 16
Dureza totalFIGURA 17
Cloruros

FIGURA 18
Fenoles

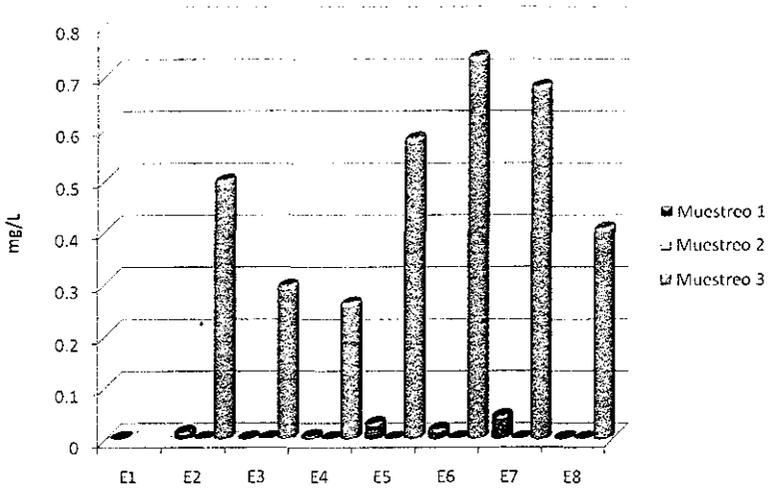


FIGURA 19
Nitrógeno amoniacal

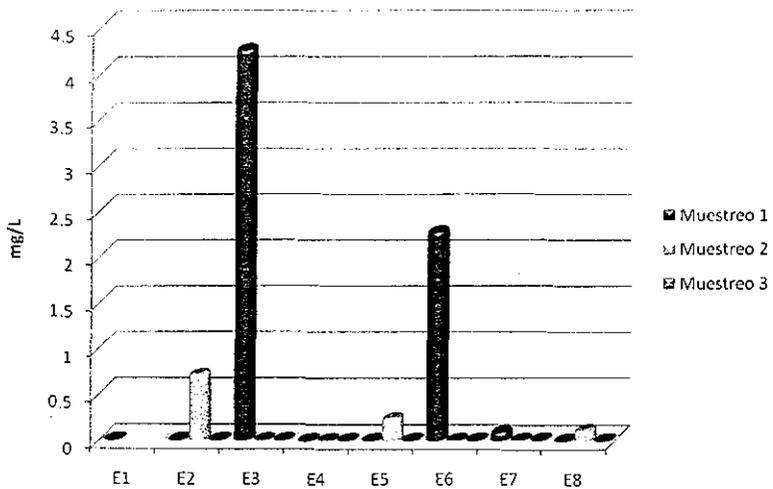


FIGURA 20
Fluoruros

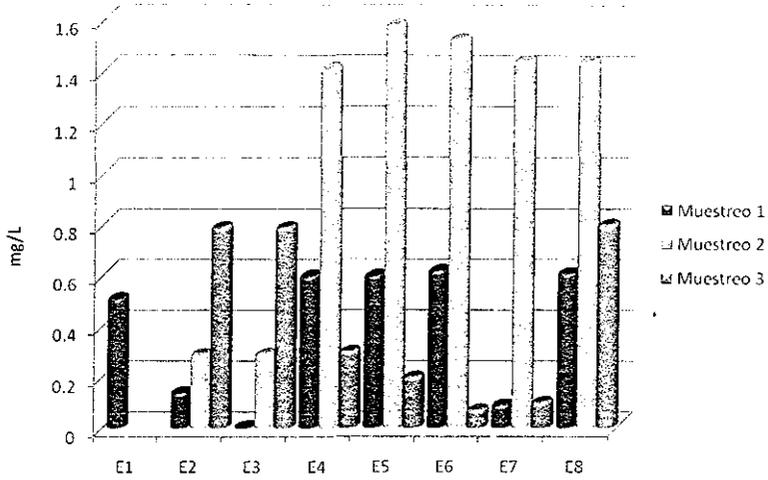


FIGURA 21
Sulfatos

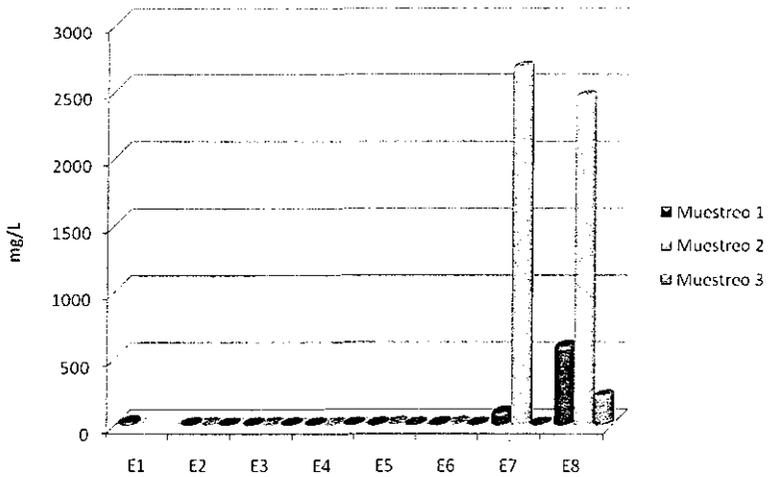


FIGURA 22
Sólidos totales

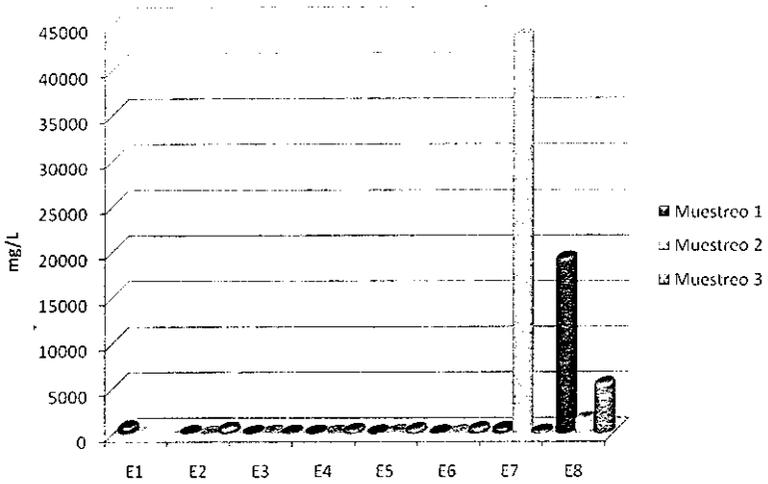


FIGURA 23
Sólidos suspendidos totales

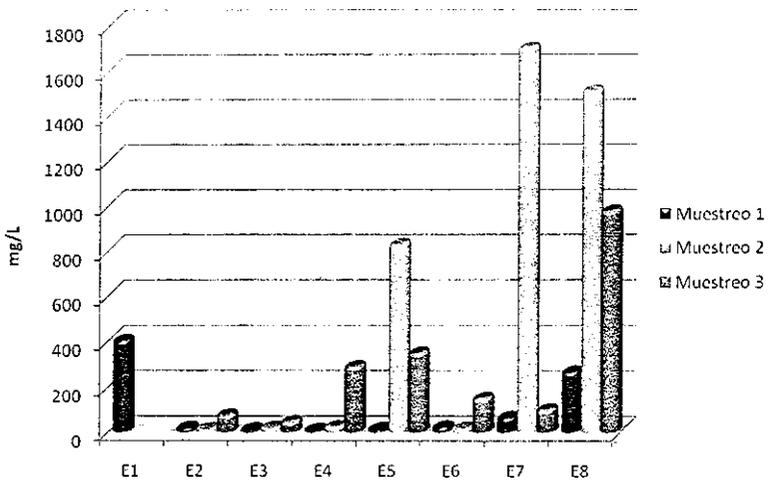


FIGURA 24
Sólidos disueltos totales

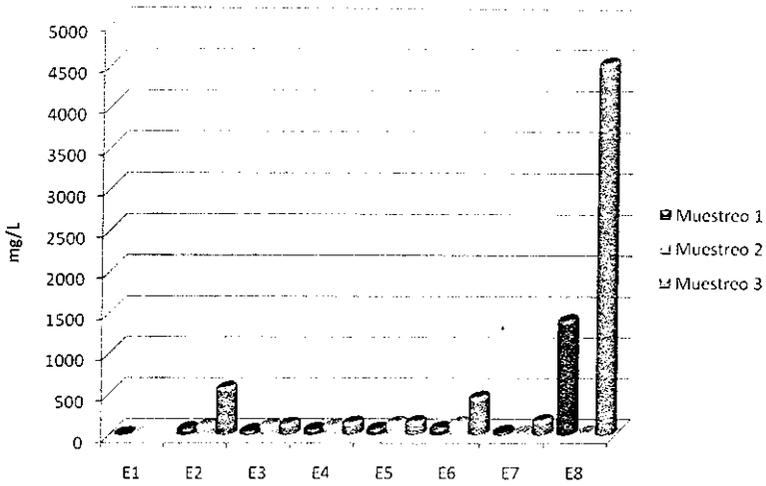


FIGURA 25
SAAM

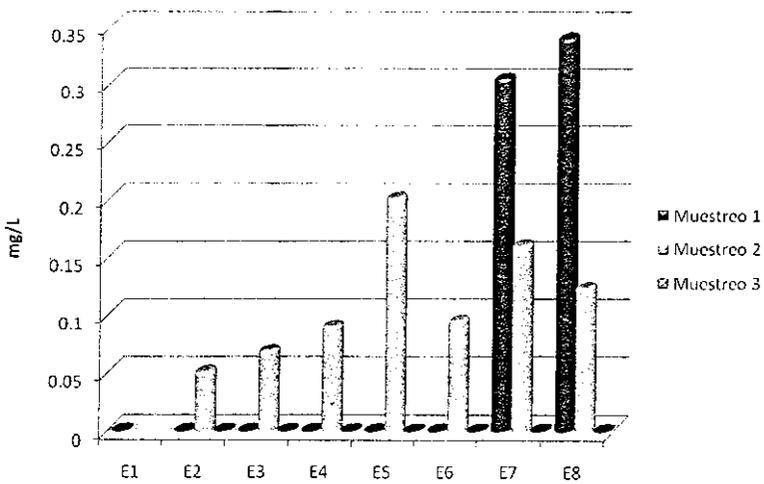


FIGURA 26

Color

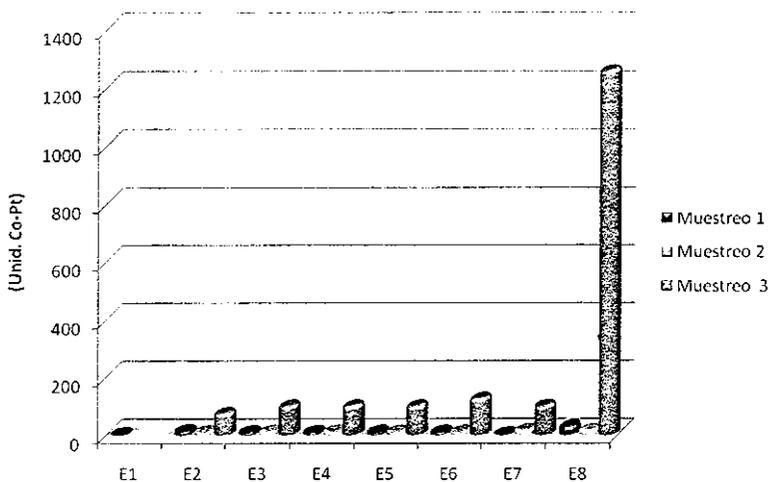


FIGURA 27

Turbiedad

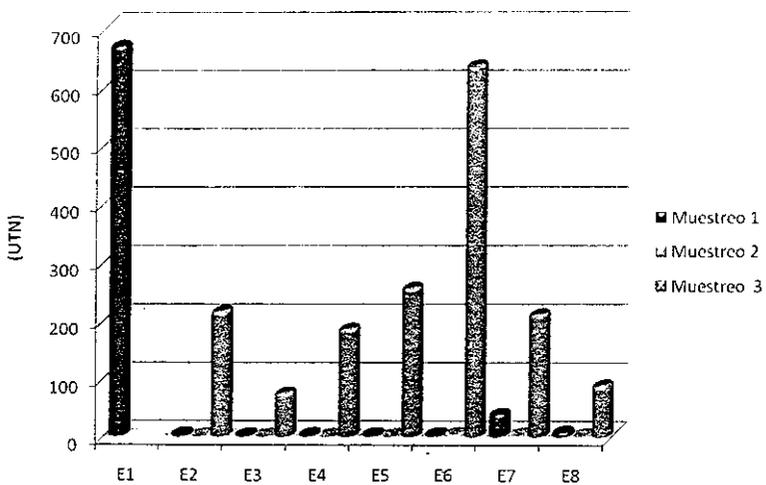


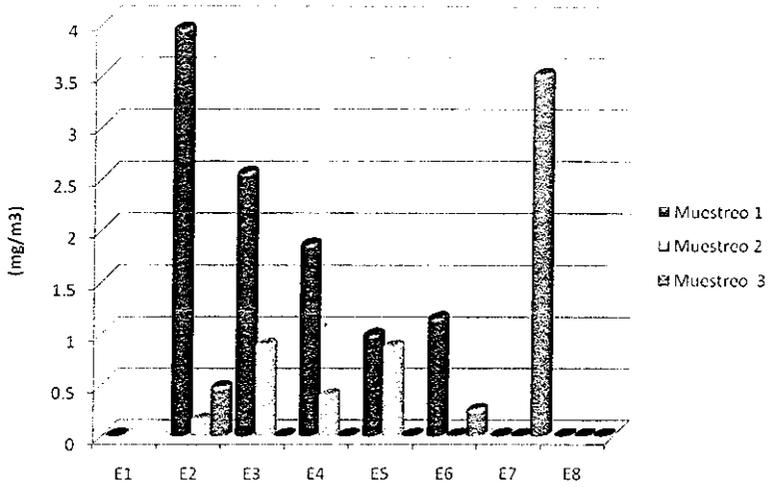
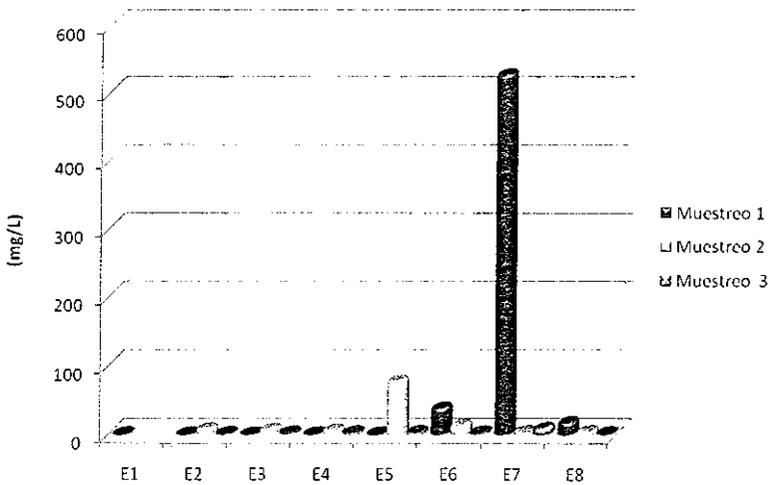
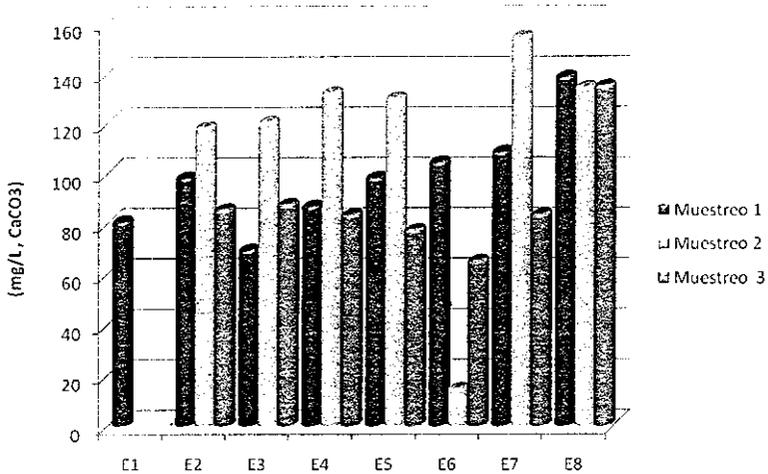
FIGURA 28
ClorofilaFIGURA 29
Grasas y aceites

FIGURA 30
Alcalinidad total



6.1.4 Resultados de metales pesados

Los metales pesados son uno de los grupos contaminantes que con gran facilidad perturban el equilibrio existente de los ecosistemas acuáticos, ejercen un deterioro progresivo a los valores ecológicos del área. En las tablas siguientes se encontraron en condiciones críticas los siguientes metales; Aluminio, Arsénico, Bario, Hierro, Manganeseo, Mercurio, Plomo, Sodio.

TABLA 28
Resultados de metales pesados, muestreo 1

	<i>Al</i>	<i>As</i>	<i>Ba</i>	<i>Cd</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Hg</i>	<i>Pb</i>	<i>Na</i>	<i>Zn</i>
E1	11.74	0.0736	0.2311	0.0002	<0.0035	<0.0019	0.0084	6.98	0.2315	66.2	<0.001	0.0331	90.1	0.0706
E2	0.1655	<0.0042	0.0395	<0.0001	<0.0035	<0.0019	0.0100	<0.0155	0.0224	9.62	<0.001	<0.0014	33.30	<0.0001
E3	0.585	0.0050	0.0605	<0.0001	<0.0035	<0.0019	<0.0035	0.0772	0.0132	9.89	<0.001	<0.0014	31.88	<0.0001
E4	1.015	<0.0042	0.0455	<0.0001	<0.0035	<0.0019	<0.0035	0.0692	0.0386	9.93	<0.001	<0.0014	35.70	<0.0001
E5	1.105	<0.0042	0.0389	<0.0001	<0.0035	<0.0019	0.0079	0.0930	0.0314	9.48	<0.001	<0.0014	37.76	<0.0001
E6	1.135	<0.0042	0.0456	<0.0001	<0.0035	<0.0019	<0.0035	0.1677	0.0437	10.10	<0.001	<0.0014	33.26	<0.0001
E7	2.360	<0.0042	0.0720	<0.0001	<0.0035	<0.0019	<0.0035	1.213	0.1120	11.03	<0.001	<0.0014	86.5	0.0074
E8	5.08	<0.0042	0.0710	<0.0001	<0.0035	<0.0019	<0.0035	3.763	0.2611	12.50	<0.0014	<0.0014	2492	<0.0001

TABLA 29
Resultados de metales pesados, muestreo 2

	<i>Al</i>	<i>As</i>	<i>Ba</i>	<i>Cd</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Hg</i>	<i>Pb</i>	<i>Na</i>	<i>Zn</i>
E2	<0.2891	0.0204	0.0454	<0.0001	<0.0001	<0.0019	0.0072	0.1187	0.0042	7.12	<0.001	<0.0014	52.1	<0.0001
E3	<0.2891	0.0132	0.0844	<0.001	<0.0001	<0.0019	<0.0035	0.0535	<0.0019	13.80	<0.001	<0.0014	46.24	<0.001
E4	0.3939	0.0212	0.0472	<0.0001	0.0027	0.0087	0.0321	0.2243	0.0072	9.69	<0.001	<0.0014	86.5	0.1242
E5	<0.2891	0.0178	0.0473	<0.0001	<0.0001	<0.0019	<0.0035	0.0901	<0.0019	10.13	<0.001	<0.0014	59.7	<0.0001
E6	<0.2891	0.0143	0.0590	<0.0001	<0.0001	<0.0019	<0.0035	0.0785	0.0040	10.66	<0.001	<0.0014	63.9	<0.0001
E7	9.22	<0.0042	0.1365	<0.0001	<0.0001	<0.0019	<0.0035	0.2085	0.0102	5.19	<0.001	<0.0014	10860	<0.0001
E8	9.37	<0.0042	0.0424	<0.0001	<0.0001	<0.0019	<0.0035	0.787	0.0691	4.460	<0.001	<0.0014	9050.0	<0.0001

TABLA 30
Resultados de metales pesados, muestreo 3

	<i>Al</i>	<i>As</i>	<i>Ba</i>	<i>Cd</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Hg</i>	<i>Pb</i>	<i>Na</i>	<i>Zn</i>
E2	1.224	0.0082	0.0631	0.0009	0.0058	0.0069	0.0024	1.197	0.1004	12.14	<0.001	<0.0014	41.8	0.0086
E3	0.956	0.00	0.0883	0.0009	0.0115	0.0044	0.0023	0.519	0.0274	13.46	<0.001	<0.0014	44.78	0.0305
E4	1.560	0.0049	0.704	0.0011	0.0090	0.0090	<0.0035	1.222	0.0384	13.27	<0.001	<0.0014	49.15	0.0242
E5	1.779	0.0088	0.0746	0.0008	0.0129	0.0073	0.0018	1.646	0.0447	12.96	<0.001	<0.0014	46.02	0.0537
E6	2.229	0.0074	0.0769	0.0008	0.0088	0.0082	0.0017	2.338	0.0731	14.84	<0.001	<0.0014	37.89	0.0203
E7	2.229	0.0101	0.0761	0.0007	0.0086	0.0074	0.0033	2.233	0.0503	15.08	<0.001	<0.0014	55.0	0.0215
E8	1.906	<0.0042	0.0429	<0.0001	0.0118	0.0071	0.0037	1.299	0.0661	10.98	<0.001	<0.0014	1221	0.0628

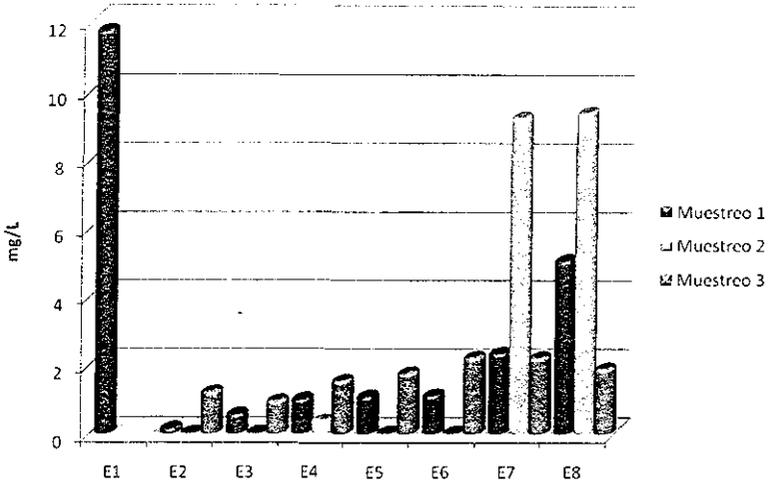
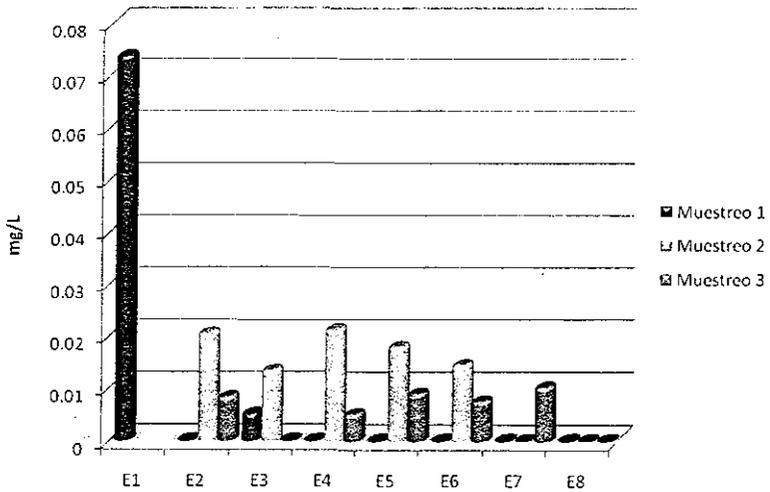
FIGURA 31
AluminioFIGURA 32
Arsénico

FIGURA 33

Bario

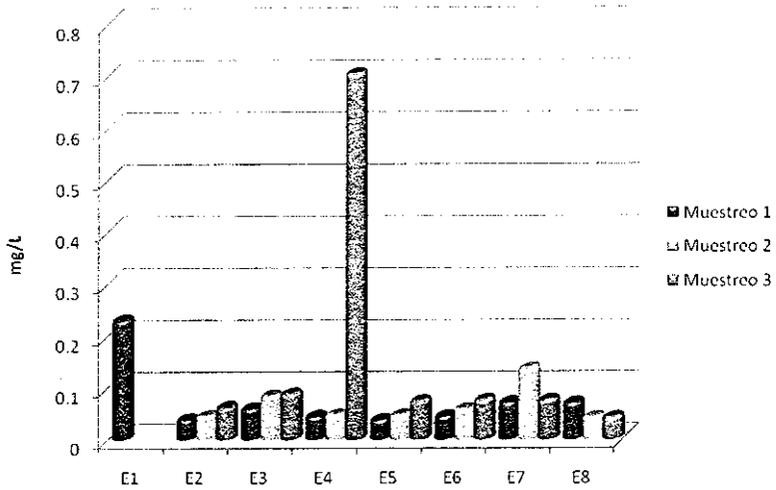


FIGURA 34

Cromo

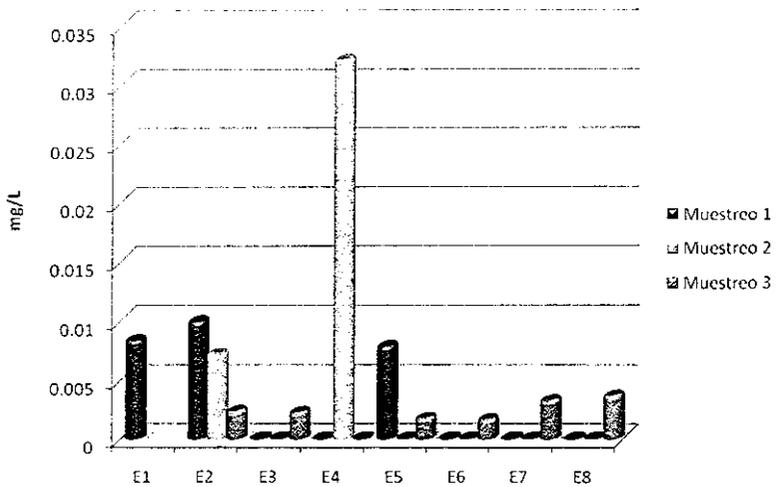


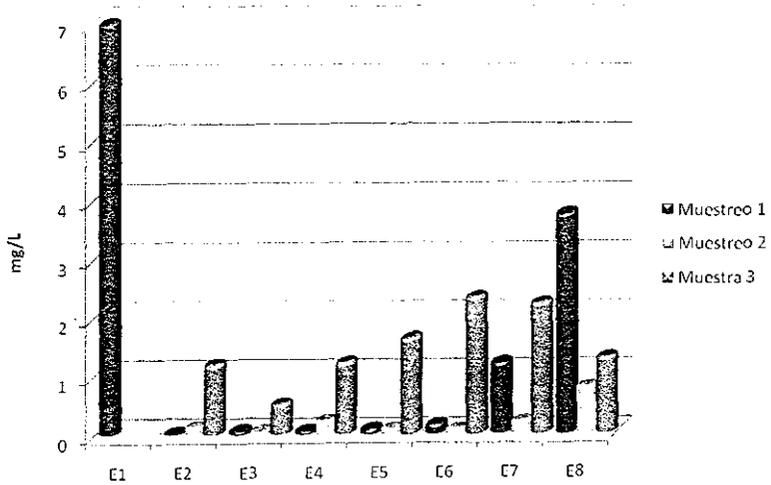
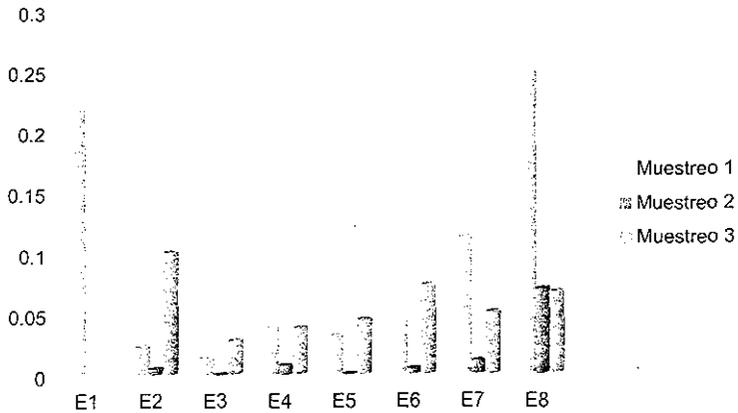
FIGURA 35
HierroFIGURA 36
Manganeso

FIGURA 37
Silicio

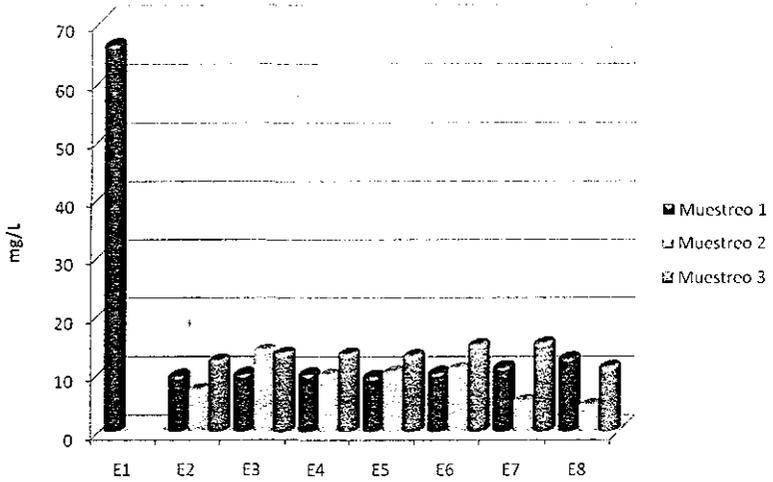


FIGURA 38
Sodio

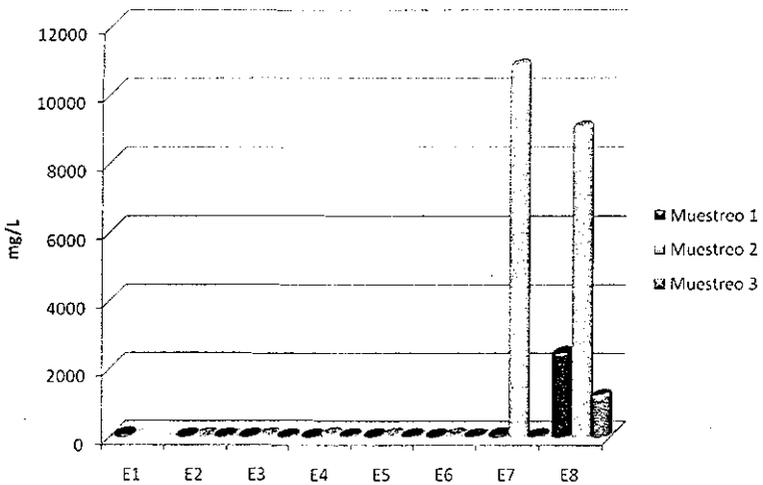
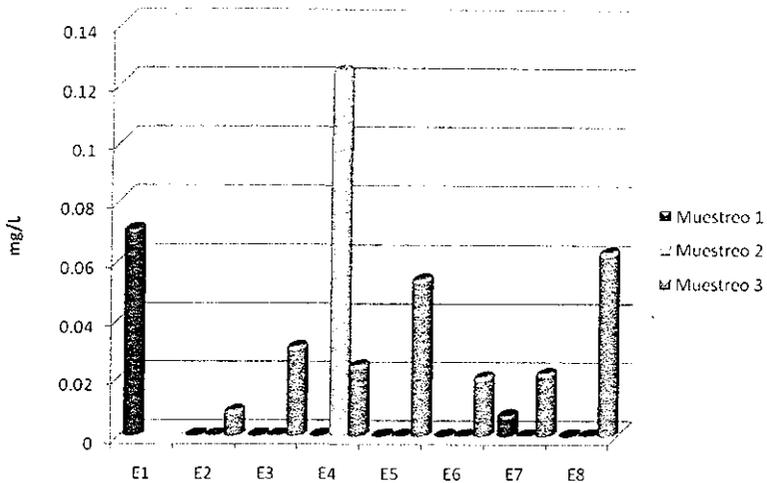


FIGURA 39
Zinc



6.1.5 Resultados de nutrientes y DQO.

Se presentan a continuación los nutrientes disueltos encontrados en el agua.

TABLA 31
Nutrientes (mg/L), muestreo 1

	Fósforo	DBO	DQO	Ortofosfatos	Nitratos	Nitritos	Nitrógeno total
E1	0.2872	< 10	< 5	0.5873	0.6175	< 0.1	0.56
E2	<0.0955	< 10	8	0.0483	<0.30	<0.1	<0.100
E3	<0.0455	< 10	< 5.0	0.23	<0.30	<0.1	4.60
E4	<0.0455	<10	<5.0	0.042	<0.30	<0.1	<0.100
E5	<0.0955	<10	<5.0	0.0429	<0.30	<0.1	<0.100
E6	0.1257	<10	<5.0	0.043	<0.30	<0.1	2.267
E7	0.1646	<10	40	0.085	0.590	0.02	<0.100
E8	0.554	<10	980	0.171	0.54	0.21	<0.100

TABLA 32
Nutrientes (mg/L), muestreo 2

	Fósforo	DBO	DQO	Ortofosfatos	Nitratos	Nitritos	Nitrógeno total
E2	<0.124	<10	70	0.05	<0.3	<0.01	0.86
E3	<0.1241	<10	30	0.0711	<0.3	<0.01	5.7657
E4	<0.1241	<10	<5.0	0.03	<0.3	<0.01	<0.100
E5	<0.1241	<10	70	0.12	<0.3	<0.01	0.24
E6	<0.1241	<10	245	0.07	<0.3	<0.01	<0.1
E7	0.4137	<10	3000	0.0358	<0.3	<0.01	0.30
E8	0.616	<10	2650	0.8	<0.3	<0.01	0.71

TABLA 33
Nutrientes (mg/L), muestreo 3

	Fósforo	DBO	DQO	Ortofosfatos	Nitratos	Nitritos	Nitrógeno total
E2	0.1465	<10	20	0.09	<0.3	3.56	<0.1
E3	<0.0786	<10	<5.0	0.15	0.5016	6.42	<0.1
E4	0.0817	<10	30	0.06	<0.3	3.51	<0.1
E5	<0.0786	<10	40	0.1	<0.3	4.38	<0.1
E6	<0.1300	<10	750	0.08	0.4575	6.10	<0.1
E7	<0.1300	<10	750	0.14	<0.3	2.47	<0.1
E8	0.1300	<10	900	0.06	<0.3	2.368	<0.1

FIGURA 40
Fósforo

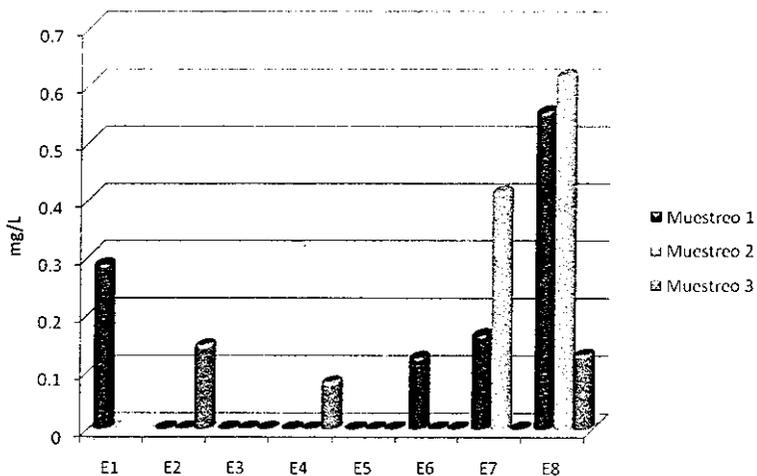


FIGURA 41
DQO

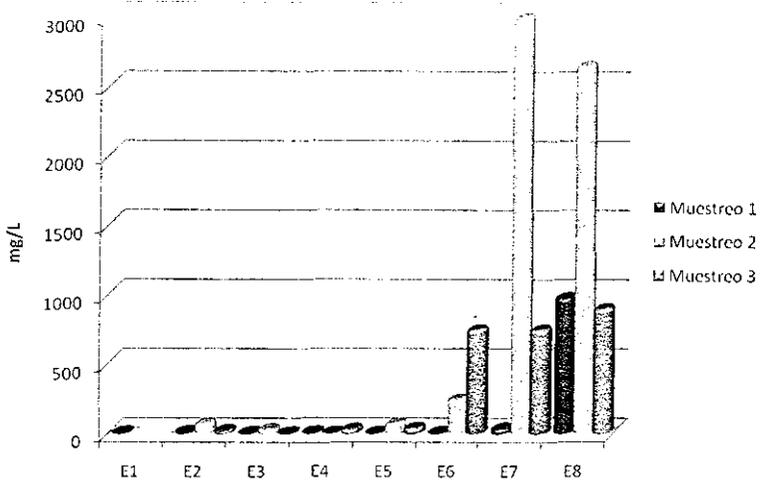


FIGURA 42
Ortofosfatos

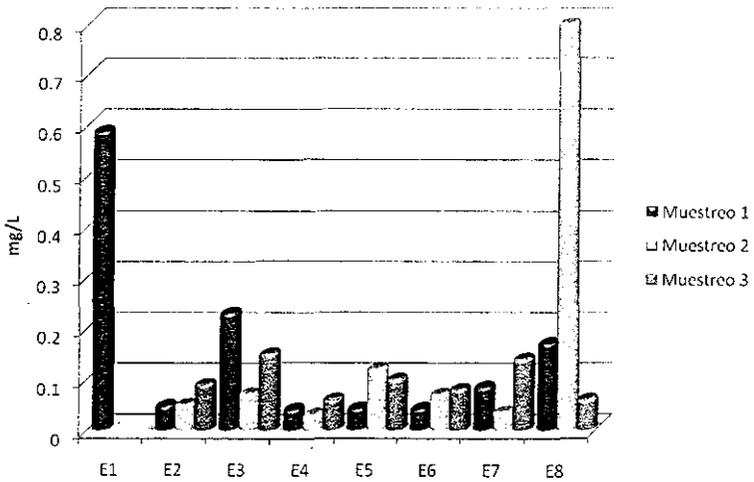


FIGURA 43
Nitratos

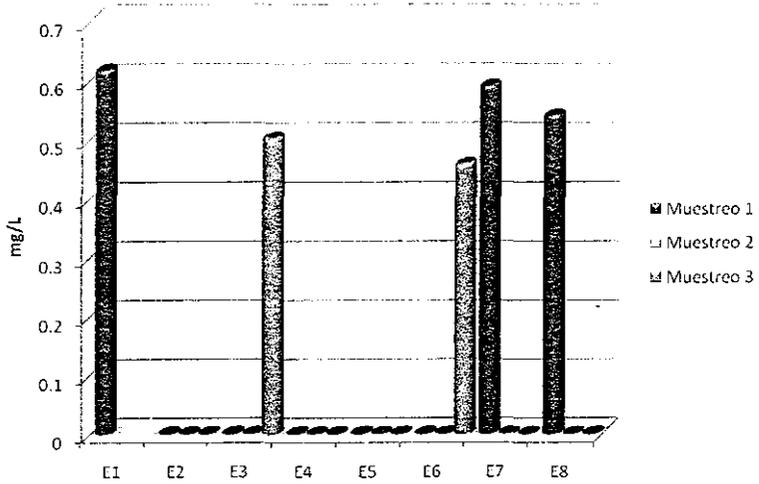


FIGURA 44
Nitritos

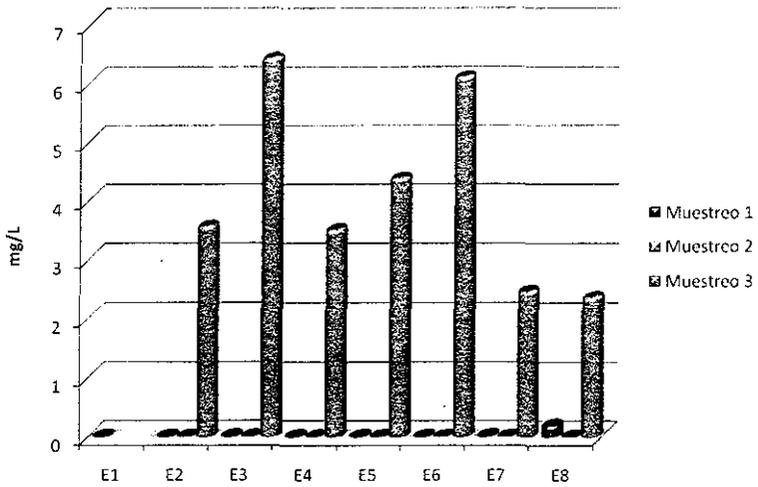
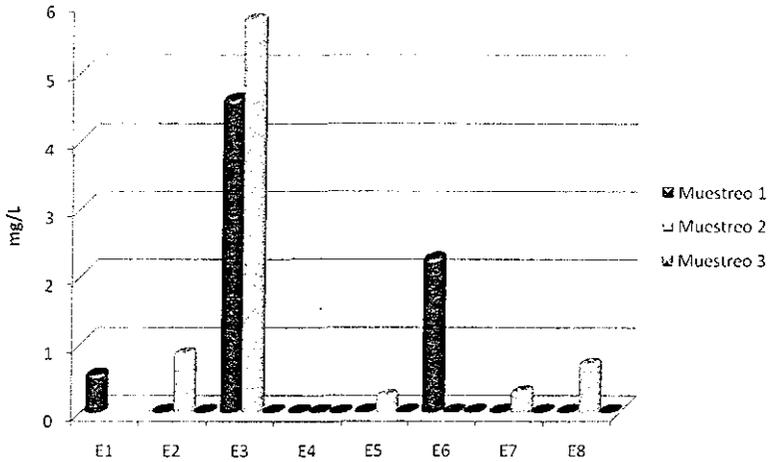


FIGURA 45
Nitrógeno total



6.2 Resultados de análisis de sedimento

Los elementos encontrados en el sedimento dan a conocer el grado de contaminación que se da en la zona de estudio. Todos los parámetros encontrados se encuentran sobre el límite de detección (0.05).

TABLA 34
Metales pesados en sedimentos (%), muestreo 1

	Al	As	Ba	Cd	Ni	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb	Na	Zn	Ag	Se
E1	—	<0.000021	0.0204	0.0001353	<0.000017	—	0.00023	—	—	<0.000005	0.02648	—	—	<0.000024	<0.000011
E2	0.8489	0.00016	0.0179	0.00005	0.000051	<0.000006	0.00027	0.8301	0.0453	<0.0000031	0.000951	0.0598	0.002031	<0.0000084	<0.00035
E3	0.5442	0.00037	0.0099	0.000050	<0.0000097	<0.000005	0.00017	0.7324	0.0521	0.0000027	0.00077	0.0680	0.001916	<0.0000073	<0.00032
E4	0.8808	0.00029	0.01958	0.00059	0.00012	<0.0000051	0.00028	0.7685	0.0442	<0.0000027	0.00127	0.09163	0.002353	<0.0000073	<0.00031
E5	0.4592	0.00022	0.01503	0.000042	0.000048	<0.000048	0.000156	0.4554	0.02749	<0.0000025	0.00081	0.07848	0.00198	0.0000068	0.00029
E6	0.9283	0.000055	0.0208	0.000069	0.0001431	0.00011	0.00040	0.9110	0.04297	0.0000021	0.001475	0.1857	0.0034	<0.0000057	<0.000244
E7	0.9665	0.0002709	0.01150	0.00013	0.000208	0.00065	0.00065	1.3522	0.04947	<0.0000025	0.002637	0.1370	0.0046	<0.0000069	<0.0002917
E8	0.8144	<0.000012	0.00258	0.0000779	0.00033	0.000097	0.00067	0.00067	0.02309	<0.0000028	0.000857	0.3265	0.00321	<0.0000075	<0.00031

TABLA 35
Metales pesados en sedimentos (%), muestreo 2

	Al	As	Ba	Cd	Ni	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb	Zn	Ag	Se
E2	0.4160	0.0004	0.949	0.000044	0.00009	0.00032	0.0002	0.4004	0.0170	<0.000001	0.00076	0.0021	0.00015	0.0011
E3	0.9447	0.0006	0.0228	0.00009	0.00023	0.0008	0.0003	0.8881	0.0937	<0.0000024	0.0017	0.0049	0.0001	0.0017
E4	0.6640	0.0004	0.0119	0.0006	0.000089	0.00044	0.0003	0.8175	0.0298	<0.000002	0.00075	0.0030	0.00017	0.00016
E5	0.4059	0.00035	0.0160	0.00005	0.000096	0.0003	0.0002	0.4650	0.0611	<0.000002	0.0010	0.0026	<0.0000075	0.0008
E6	0.6042	0.00024	0.0192	0.00006	0.0001	0.0005	0.0004	0.6621	0.0421	<0.000002	0.0011	0.0031	0.00009	0.0011
E7	0.4228	0.00059	0.0043	0.00009	0.0027	0.0008	0.0010	0.9305	0.0289	<0.000002	0.0044	0.0046	0.00011	0.00093
E8	0.8263	<0.000009	0.0019	0.00008	0.00042	0.0007	0.0008	1.14	0.010	<0.000002	0.00085	0.0039	0.00015	0.0015

TABLA 36
Metales pesados en sedimentos (%), muestreo 3

	<i>Al</i>	<i>As</i>	<i>Ba</i>	<i>Cd</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Hg</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Ag</i>	<i>Se</i>
E2	0.2758	0.00033	0.0144	0.00006	0.000068	0.00090	0.00036	0.8171	0.02132	<0.000002	0.0008	0.0024	<0.00020	0.0029
E3	0.1946	0.00053	0.01032	0.000045	0.00073	0.00065	0.00014	0.4622	0.0290	<0.000002	0.0005	0.0018	0.00022	0.0011
E4	0.2091	0.0003	0.0117	0.000045	0.000099	0.00071	0.00019	0.5109	0.0241	<0.000002	0.0007	0.0019	0.0009	0.0013
E5	0.4351	0.0031	0.0189	0.00005	0.00024	0.0009	0.0026	0.8211	0.043	<0.000009	0.00081	0.00211	0.00118	0.00176
E6	0.5841	0.000322	0.0234	0.000082	0.00046	0.00147	0.00037	1.09167	0.0610	<0.000002	0.00107	0.00276	0.00066	0.00267
E7	0.1489	0.00042	0.003318	0.000053	0.00014	0.00090	0.00044	0.8435	0.02140	<0.0000001	0.0011	0.0025	0.00029	0.00099
E8	0.2414	0.00012	0.0017	0.00005	0.00026	0.00084	0.00045	0.807	0.01053	<0.000002	0.00045	0.00234	0.00045	0.0012

TABLA 39
Resultados de sedimentos (mg/L), muestreo 3

	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Fósforo %	0.0263	0.0704	0.0334	0.0318	0.0340	0.0698	0.0498
Nitrógeno total %	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
pH	6.79	7.11	7.20	7.03	7.06	7.25	7.22
2,4-D	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0
Ácido 2,4,5-triclorofenoxi propiónico	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Clordano	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
o-Cresol	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200
m-Cresol	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200
p-Cresol	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200
Cresol	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200
2,4-Dinitrotolueno	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13
Endrín	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Heptacloro (y su epóxido)	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
Hexacloroetano	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0
Lindano	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
Metoxicloro	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nitrobenzeno	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Pentaclorofenol	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Toxafeno	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
2,4,5-Triclorofenol	<400	<400	<400	<400	<400	<400	<400
2,4,6-Triclorofenol	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Benceno	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Clorobenceno	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Cloroformo	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0
Cloruro de vinilo	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
1,4-Diclorobenceno	<7.5	<7.5	<7.5	<7.5	<7.5	<7.5	<7.5
1,2-Dicloroetano	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
1,1-Dicloroetileno	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7
Hexaclorobenceno	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13
Hexaclorobutadieno	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Metiletil cetona	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200
Piridina	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tetracloroetileno	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7
Tetracloruro de carbono	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Tricloroetileno	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Materia orgánica	1.95	0.22	0.193	3.27	4.17	1.53	1.46

6.3 Resultados de plancton

Se describen los análisis cualitativos y cuantitativos de las especies de fitoplancton encontrados en los muestreos realizados.

Primer muestreo

Se muestran los valores de fitoplancton para las 8 estaciones estudiadas, como sigue:

TABLA 40
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - San Blasito

	Género / Especie	División
1	<i>Fragilaria capucina</i>	cry
2	<i>Navicula neglecta</i>	cry
3	<i>Chlorella sp.</i>	chl
4	<i>Navicula confervacea</i>	cry
5	<i>Chlorophyta filamentosa</i>	chl
6	<i>Nitzschia sp.</i>	cry
7	<i>Navicula viridula</i>	cry
8	<i>Pinularia sp.</i>	cry
9	<i>Ulothrix aequalis</i>	chl
10	<i>Denticula elegans</i>	cry

FIGURA 46

Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – San Blasito

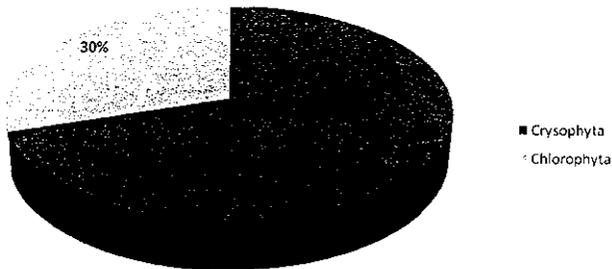


FIGURA 47
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – San Blasito

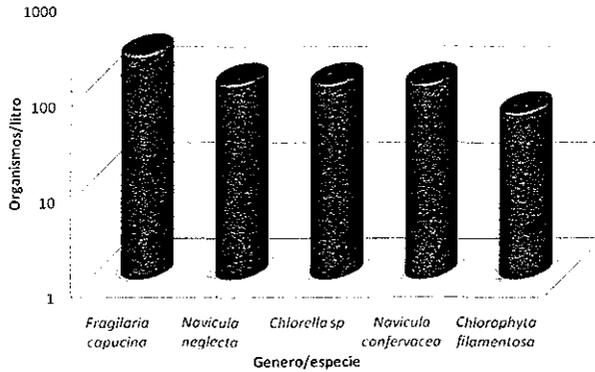


TABLA 41
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – cortina

	<i>Género / Especie</i>	<i>División</i>
1	<i>Fragilaria capucina</i>	cry
2	<i>Synedra ulna</i>	cry
3	<i>Navicula</i>	cry
4	<i>Spirogyra condensata</i>	chl
5	<i>Filamento chlorophyceo</i>	chl
6	<i>Cymbella sp.</i>	cry

FIGURA 48
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – cortina

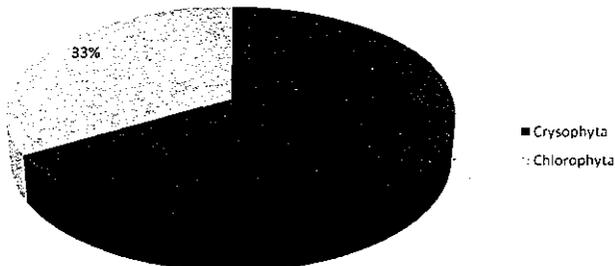


FIGURA 49
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – cortina

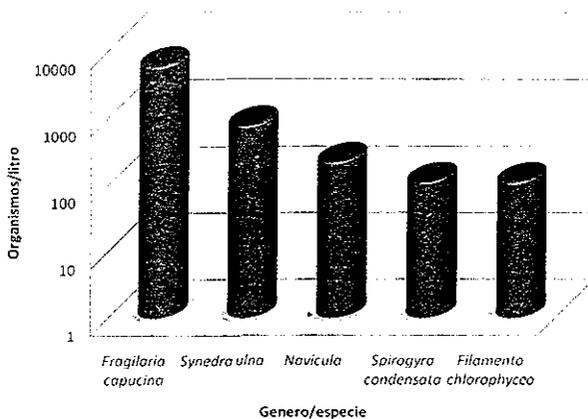


TABLA 42
Análisis cualitativo fitoplanctónico afluente El Naranjo

	<i>Género / Especie</i>	<i>División</i>
1	<i>Fragilaria capucina</i>	cry
2	<i>Synedra ulna</i>	cry
3	<i>Microspora stagnorum</i>	chl
4	<i>Navicula sp.</i>	cry
5	<i>Ulotrix variabilis</i>	chl

FIGURA 50
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton afluente El Naranjo

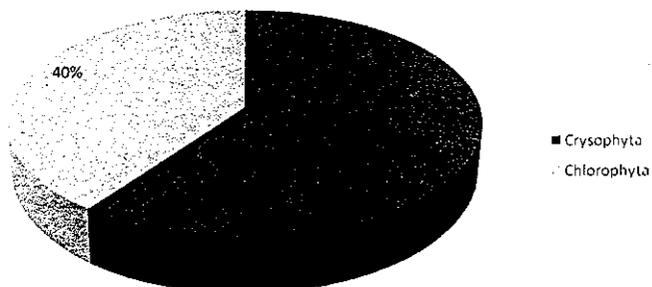


FIGURA 51
Análisis cuantitativo fitoplanctónico afluente El Naranjo

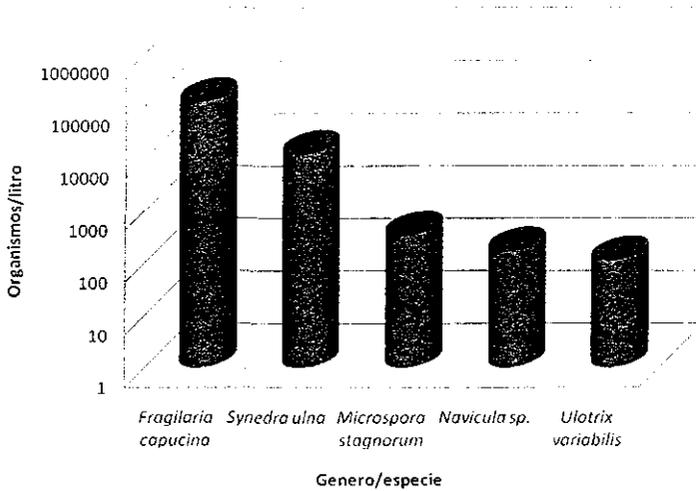


TABLA 43
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – San Pedro Ixcatán

	Género / Especie	División
1	<i>Fragilaria capucina</i>	Cry
2	<i>Fragilaria crotonensis</i>	Cry
3	<i>Nitzschia scalpelliformis</i>	Cry
4	<i>Navicula platealea</i>	Cry

FIGURA 52
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – San Pedro Ixcatán

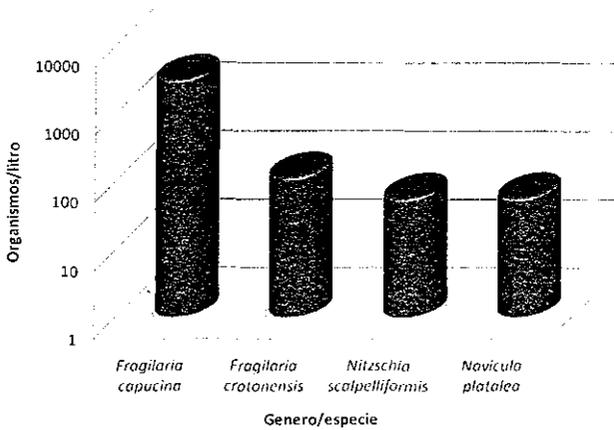


TABLA 44
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – Vado de San Pedro

	Género / Especie	División
1	<i>Fragilaria capucina</i>	cry
2	<i>Synedra ulna</i>	cry
3	<i>Navicula sp.</i>	cry
4	<i>Denticula elegans</i>	cry
5	<i>Microcystis aeruginosa</i>	cya

FIGURA 53
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro - Vado de San Pedro

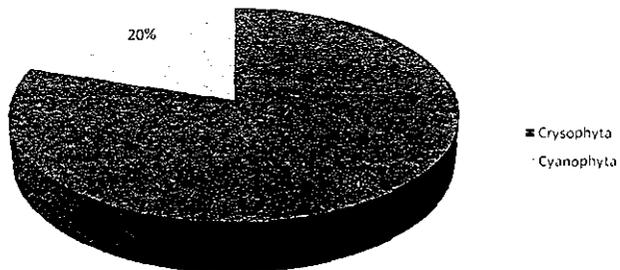


FIGURA 54
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro - Vado de San Pedro

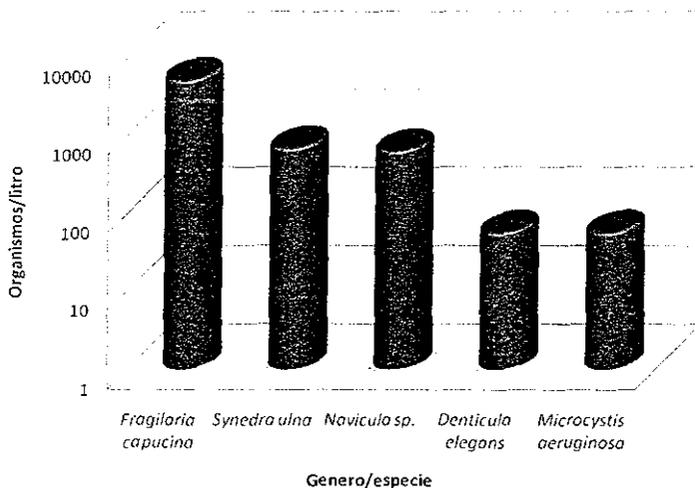


TABLA 45
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – Tuxpan

	Género / Especie	División
1	<i>Fragilaria capucina</i>	cry
2	<i>Navicula neglecta</i>	cry
3	<i>Navicula sp.</i>	cry
4	<i>Closterium sp.</i>	chl
5	<i>Synedra ulna</i>	cry
6	<i>Nitzschia apiculada</i>	cry
7	<i>Microcystis aeruginosa</i>	cya
8	<i>Chlorella sp</i>	chl
9	<i>Microspora stagnorum</i>	chl

FIGURA 55

Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Tuxpan

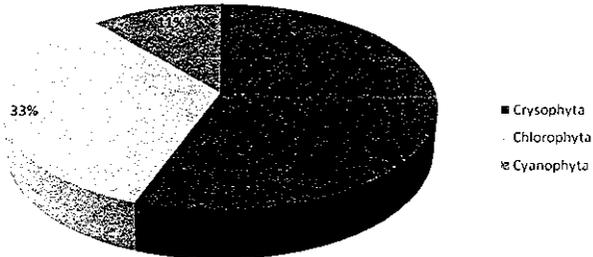


FIGURA 56

Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Tuxpan

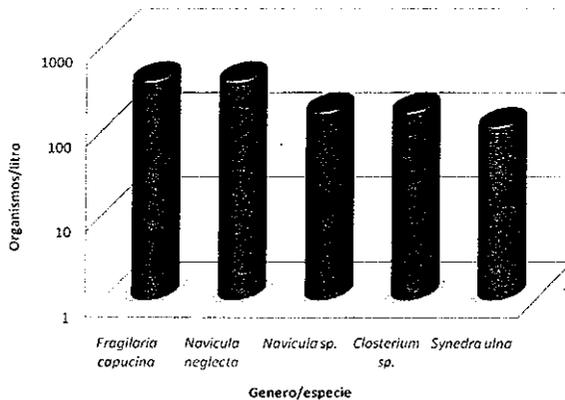


Tabla 46
Análisis cualitativo fitoplanctónico Mexcaltitán

	<i>Género / Especie</i>	<i>División</i>
1	<i>Fragilaria capucina</i>	cry
2	<i>Chlorophyta filamentosa</i>	chl
3	<i>Chlorella sp.</i>	chl
4	<i>Navicula platalea</i>	cry

FIGURA 57
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Mexcaltitán

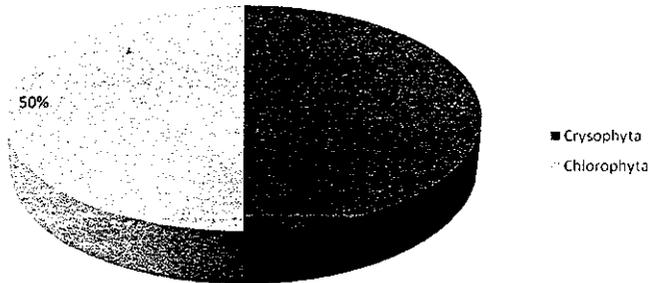


FIGURA 58
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Mexcaltitán

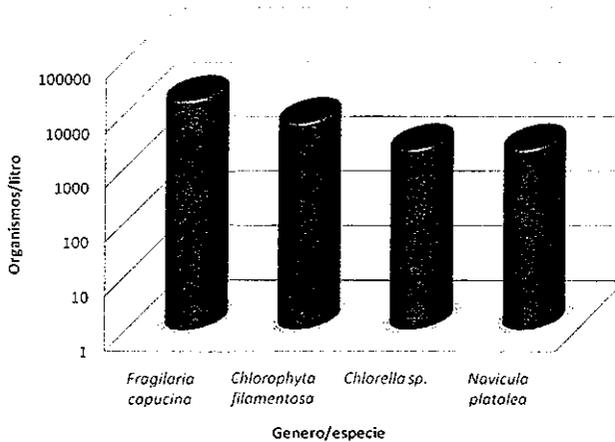


TABLA 47
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – Boca del Camichín

	Género / Especie	División
1	<i>Fragilaria capucina</i>	cry
2	<i>Navicula sp.</i>	cry
3	<i>Stephanodiscus niagarae</i>	cry
4	<i>Closterium lunata</i>	chl
5	<i>Denticula sp.</i>	cry
6	<i>Pinnularia gibba</i>	cry
7	<i>Oscillatoria sp.</i>	cya
8	<i>Microcystis aeruginosa</i>	cya
9	<i>Volvox aureus</i>	chl
10	<i>Closterium aciculare</i>	chl
11	<i>Chlorella sp</i>	chl

FIGURA 59
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Boca del Camichín

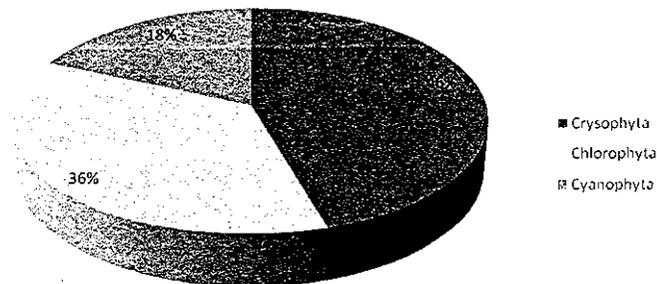
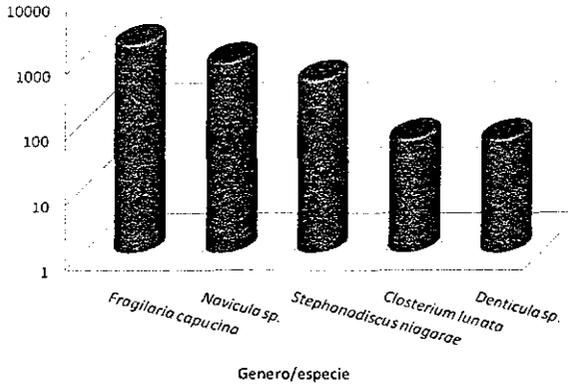


FIGURA 60
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Boca del Camichin



Segundo muestreo

TABLA 48
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – cortina

	Género / Especie	División
1	<i>Navicula sp.</i>	cry
2	<i>Fragilaria capucina</i>	cry
3	<i>Cymbella sp.</i>	cry
4	<i>Surirella sp.</i>	cry
5	<i>Navicula placenta</i>	cry
6	<i>Nitzshia sigmoidea</i>	cry
7	<i>Pinularia sp.</i>	cry
8	<i>Rophalodia sp.</i>	cry
9	<i>Synedra ulna</i>	cry
10	<i>Melosira granulata</i>	cry
11	<i>Cocconeis placentula</i>	cry
12	<i>Scenedesmus quadricuada</i>	chl
13	<i>Chlorophyta filamentosa</i>	chl
14	<i>Scenedesmus bijuga</i>	chl
15	<i>Spirogyra sp.</i>	chl
16	<i>Pediastrum tetras</i>	chl
17	<i>Closterium sp.</i>	chl
18	<i>Rivularia biasolettiana</i>	cya
19	<i>Spirulina sp.</i>	cya
20	<i>Oscillatoria sp.</i>	cya
21	<i>Oscillatoria limosa</i>	cya

FIGURA 61
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – cortina

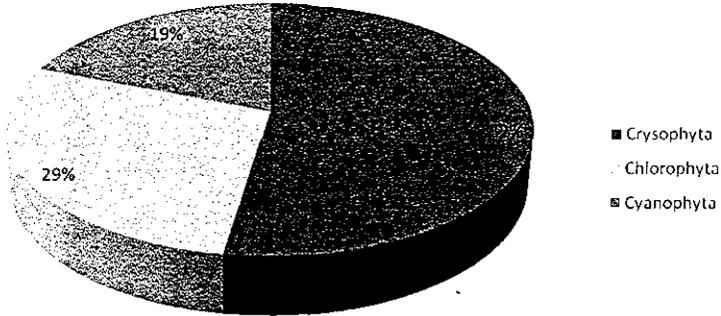


FIGURA 62
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – cortina

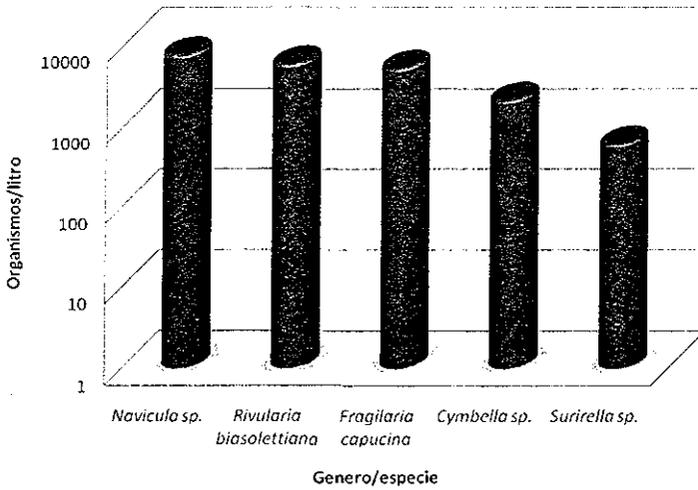


TABLA 49
Análisis cualitativo fitoplanctónico afluente el naranjo

	Género / Especie	División
1	<i>Navicula sp.</i>	cry
2	<i>Fragilaria crotonensis</i>	cry
3	<i>Cymbella sp.</i>	cry
4	<i>Amphora sp.</i>	cry
5	<i>Melosira granulata</i>	cry
6	<i>Diatomea sp.</i>	cry
7	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	chl
8	<i>Coelastrum microporum</i>	chl
9	<i>Eudorina sp.</i>	chl
10	<i>Scenedesmus tenuispina</i>	chl
11	<i>Scenedesmus bijuga</i>	chl
12	<i>Coelastrum reticulatum</i>	chl
13	<i>Chlorophyta filamentosa</i>	chl
14	<i>Scenedesmus bijuga</i> 8 células	chl
15	<i>Gloeocystis</i>	chl
16	<i>Pediastrum tetras</i>	chl
17	<i>Scenedesmus arcuatus</i>	chl
18	<i>Staurastrum sp.</i>	chl
19	<i>Volvox aurious</i>	chl
20	<i>Pediastrum simplex</i>	Chl
21	<i>Cosmarium sp.</i>	Chl
22	<i>Closterium sp.</i>	Chl
23	<i>Cosmarium margaritatum</i>	Chl
24	<i>Pediastrum duplex</i>	Chl
25	<i>Merismopedia sp.</i>	Cya
26	<i>Oscillatoria limosa</i>	Cya
27	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Cya
28	<i>Anabaena flos-aquae</i>	Cya
29	<i>Spirulina</i>	Cya
30	<i>Oscillatoria sp.</i>	Cya

FIGURA 63
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton afluente el naranjo

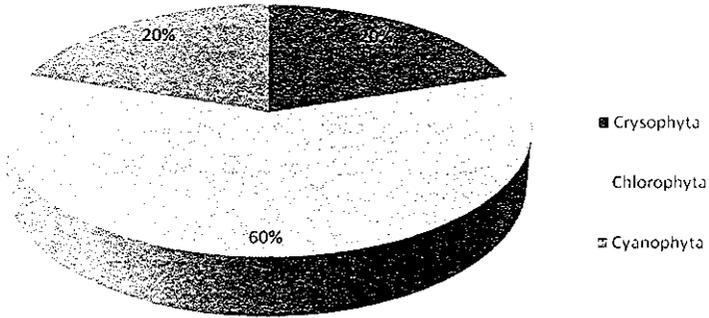


FIGURA 64
Análisis cuantitativo fitoplanctónico afluente el naranjo

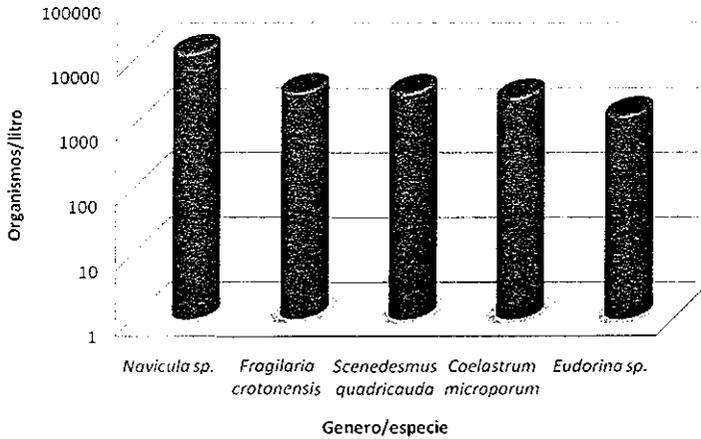


TABLA 50
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro –San Pedro Ixcatán

	Género / Especie	División
1	<i>Navicula sp.</i>	Cry
2	<i>Rhopalodia gibba</i>	Cry
3	<i>Cymbella sp.</i>	Cry
4	<i>Fragilaria capucina</i>	Cry
5	<i>Anomoeoneis</i>	Cry
6	<i>Diatomea sp.</i>	Cry
7	<i>Surirella sp.</i>	Cry
8	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	Cry
9	<i>Coconeis sp.</i>	Cry
10	<i>Scenedesmus bijuga</i>	Chl
11	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Chl
12	<i>Chlorophyta filamentosa</i>	Chl
13	<i>Scenedesmus sp.</i>	Chl
14	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	Chl
15	<i>Gloeocystis</i>	Chl
16	<i>Pediastrum tetras</i>	Chl
17	<i>Closterium sp.</i>	Chl
18	<i>Spirogyra sp.</i>	Chl
19	<i>Rivularia biasolettiana</i>	Cya
20	<i>Anabaena flos-aquae</i>	Cya
21	<i>Oscillatoria sp.</i>	Cya
22	<i>Euglena phacus</i>	Eug
23	<i>Euglena acus</i>	Eug

FIGURA 65
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro –San Pedro Ixcatán

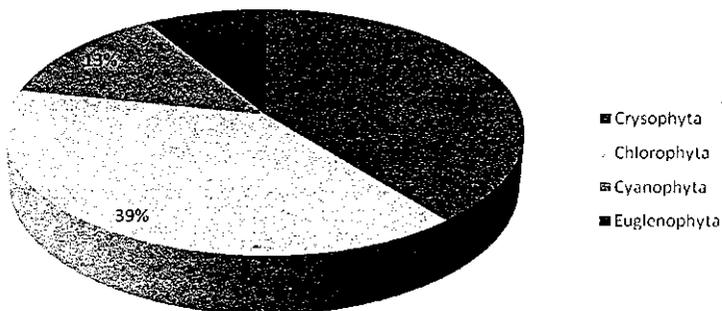


FIGURA 66
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro –San Pedro Ixcatan

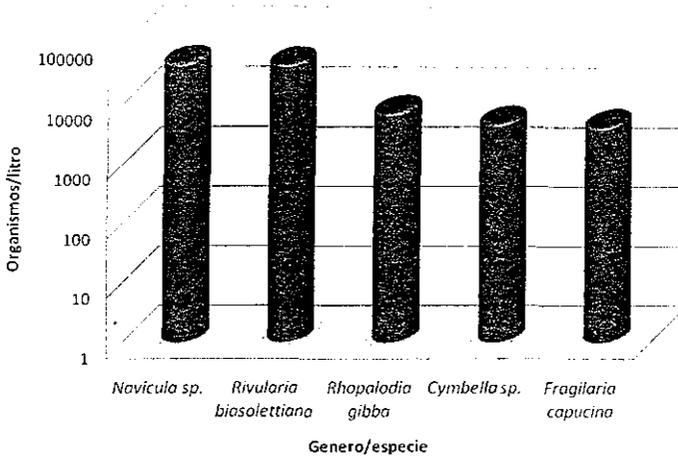


TABLA 51
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – Vado de San Pedro

	Género / Especie	División
1	<i>Navicula sp.</i>	Cry
2	<i>Amphora ovalis</i>	Cry
3	<i>Cymbella sp.</i>	Cry
4	<i>Fragilaria capucina</i>	Cry
5	<i>Surirella sp.</i>	Cry
6	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	cry
7	<i>Nitzschia bilobata</i>	cry
8	<i>Diatomea sp.</i>	cry
9	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	cry
10	<i>Scenedesmus bijuga</i>	chl
11	<i>Chlorophyta filamentosa</i>	chl
12	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	chl
13	<i>Scenedesmus opoliensis</i>	chl
14	<i>Spirogyra sp.</i>	chl
15	<i>Closterium kuetzingii</i>	chl
16	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	chl
17	<i>Spirulina sp.</i>	cya
18	<i>Microsystis aeruginosa</i>	cya
19	<i>Arthrospira jenner</i>	cya
20	<i>Oscillatoria sp.</i>	cya
21	<i>Cosmarium ralfsii</i>	chl
22	<i>Anabaena flos-aquae</i>	cya

FIGURA 67
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Vado de San Pedro

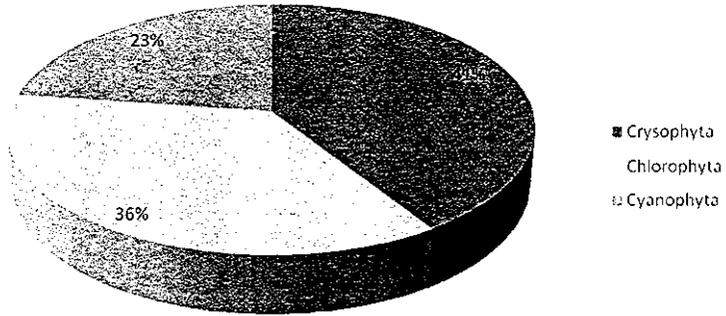


FIGURA 68
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Vado de San Pedro

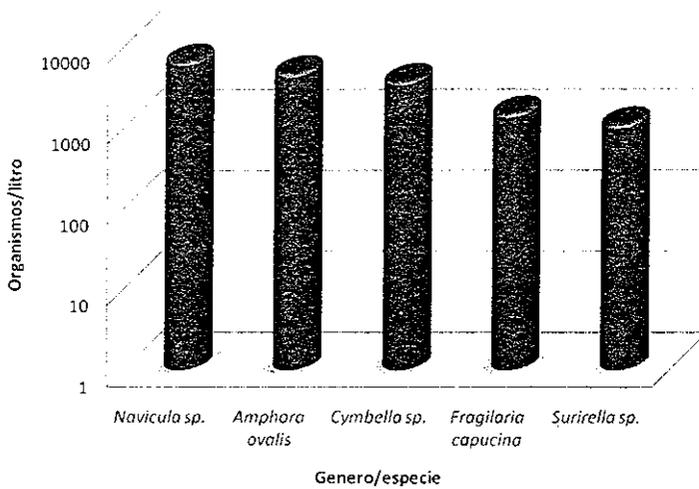


TABLA 52
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro -Tuxpan

	Género / Especie	División
1	<i>Navicula sp.</i>	Cry
2	<i>Fragilaria capucina</i>	Cry
3	<i>Fragilaria capucina</i>	Cry
4	<i>Coscinodiscus lacustris</i>	Cry
5	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	Cry
6	<i>Cymbella cistula</i>	Cry
7	<i>Surirella sp.</i>	Cry
8	<i>Rhopalodia gibba</i>	Cry
9	<i>Amphora sp.</i>	Cry
10	<i>Gomphonema lanceolatum</i>	Cry
11	<i>Nitzschia spp.</i>	Cry
12	<i>Chlorosarcina sp.</i>	Chl
13	<i>Closterium kuetzingii</i>	Chl
14	<i>Scenedesmus bijuga</i>	Chl
15	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Chl
16	<i>Scenedesmus opoliensis</i>	Chl
17	<i>Actinastrum hantzschii</i>	Chl
18	<i>Chlorophyta filamentosa</i>	Chl
19	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	Chl
20	<i>Anabaena flos-aquae</i>	Cya
21	<i>Spirulina sp.</i>	Cya
22	<i>Eucapsis sp.</i>	Cya
23	<i>Euglena phacus</i>	Eug
24	<i>Euglena próxima</i>	Eug

FIGURA 69

Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro -Tuxpan

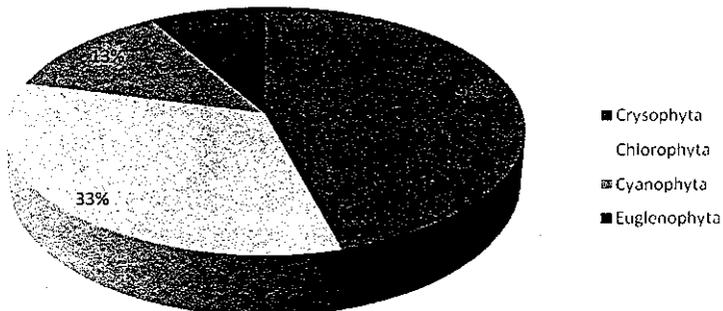


FIGURA 70
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro -Tuxpan

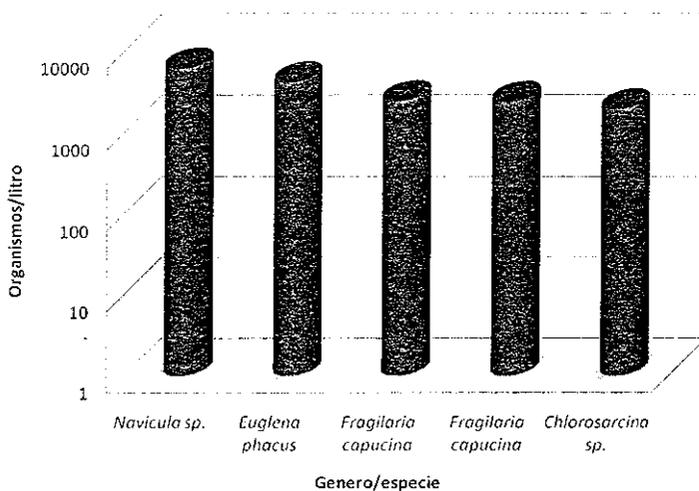


TABLA 53
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Mexcaltitán

	Género / Especie	División
1	<i>Navicula sp.</i>	Cry
2	<i>Coscinodiscus lacustris</i>	Cry
3	<i>Fragilaria capucina</i>	Cry
4	<i>Rhopalodia sp.</i>	Cry
5	<i>Amphora sp.</i>	Cry
6	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	Cry
7	<i>Surirella sp.</i>	Cry
8	<i>Navicula placentia</i>	Cry
9	<i>Cymbella sp.</i>	Cry
10	<i>Stephanodiscus niagarae</i>	Cry
11	<i>Melosira granulata</i>	Cry
12	<i>Scenedesmus opoliensis</i>	Chl
13	Filamento clorophyceo	Chl
14	<i>Closterium kuetzingii</i>	Chl
15	<i>Closterium setaceum</i>	Chl
16	<i>Closterium sp.</i>	Chl
17	<i>Oscillatoria limosa</i>	Cya
18	<i>Oscillatoria sp.</i>	Cya
19	<i>Anabaena sp.</i>	Cya

FIGURA 71
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro –Mexcaltitán

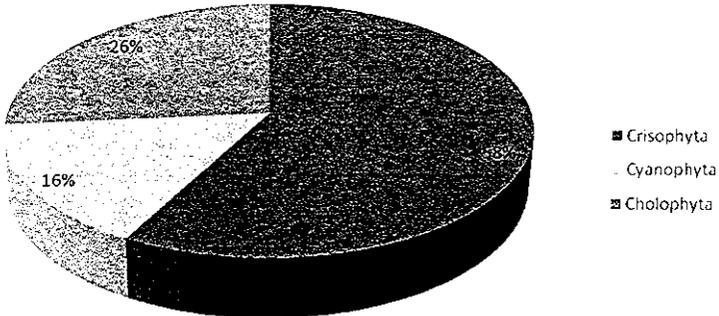


FIGURA 72
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro –Mexcaltitán

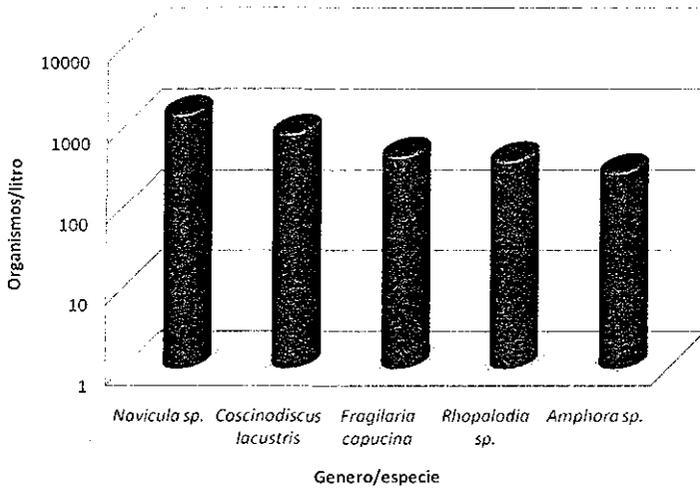


TABLA 54
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – Boca de Camichin

	Género / Especie	División
1	<i>Melosira sp.</i>	Cry
2	<i>Fragilaria capucina</i>	Cry
3	<i>Navicula sp.</i>	Cry
4	<i>Nitzshia sigmoidea</i>	Cry
5	<i>Gyrosigma sp.</i>	Cry
6	<i>Chlorophyta filamentosa</i>	Chl
7	<i>Closterium sp.</i>	Chl
8	<i>Pediastrum duplex</i>	Chl
9	<i>Oscillatoria limosa</i>	Cya
10	<i>Oscillatoria sp.</i>	Cya
11	<i>Euglena sp.</i>	Eug

FIGURA 73
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Boca de Camichin

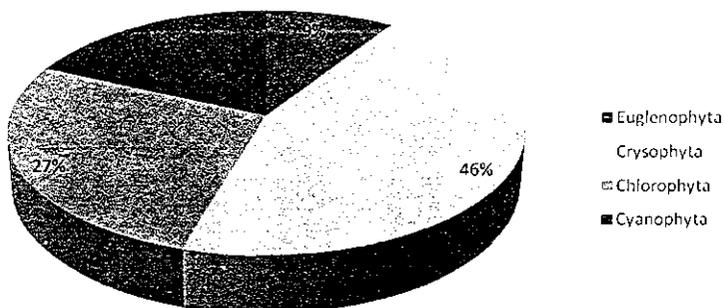
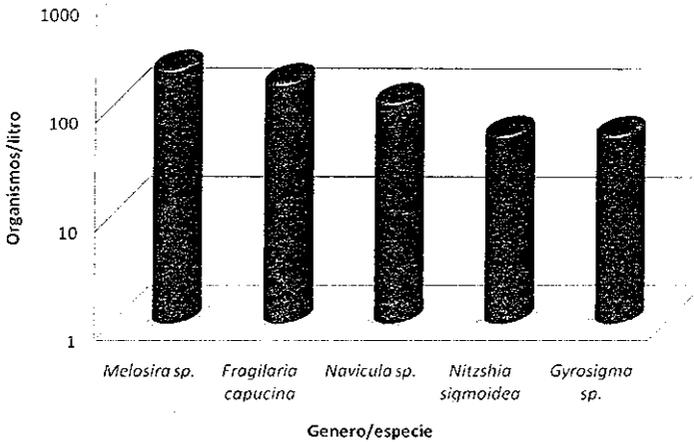


FIGURA 74
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Boca de Camichin



Tercer muestreo

TABLA 55
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro –cortina

	Género / Especie	División
1	<i>Filamento clorophyceo ramificado 1</i>	Chl
2	<i>Fragilaria crotonensis</i>	Cry
3	<i>Cladophora glomerata</i>	Chl
4	<i>Navicula sp.</i>	Cry
5	<i>Chlorophyta filamentosa 1</i>	Chl
6	<i>Hydrodictyon reticulatum</i>	Chl
7	<i>Surirella sp.</i>	Cry
8	<i>Rhopalodia gibba</i>	Cry
9	<i>Gyrosigma sp.</i>	Cry
10	<i>Epithemia turgida</i>	Cry
11	<i>Rhopalodia sp.</i>	Cry
12	<i>Spirulina sp.</i>	Cya

FIGURA 75
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – cortina

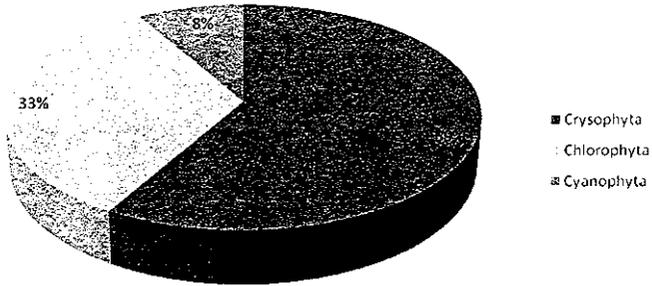


FIGURA 76
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – cortina

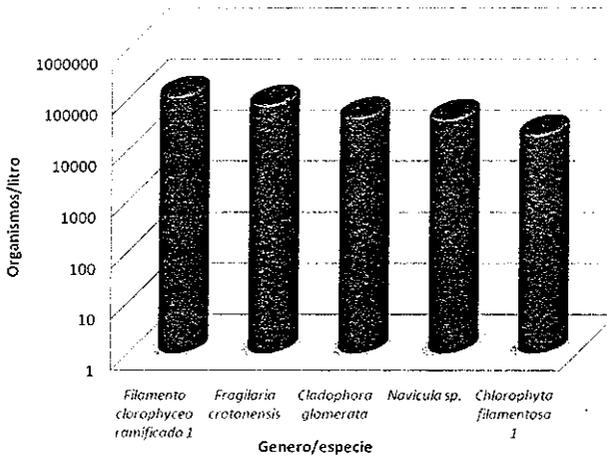


TABLA 56
Análisis cualitativo fitoplanctónico Afuente - El Naranjo

	Género / Especie	División
1	<i>Fragilaria crotonensis</i>	Cry
2	<i>Hydrodictyon reticulatum</i>	Chl
3	<i>Filamento clorophyceo ramificado 1</i>	Chl
4	<i>Spirulina sp.</i>	Cya
5	<i>Lyngbia sp.</i>	Cya
6	<i>Cladophora glomerata</i>	Chl
7	<i>Melosira sp.</i>	Cry
8	<i>Nitzschia sp.</i>	Cry
9	<i>Spirogyra sp.</i>	Chl

FIGURA 77
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Afuente - El Naranjo

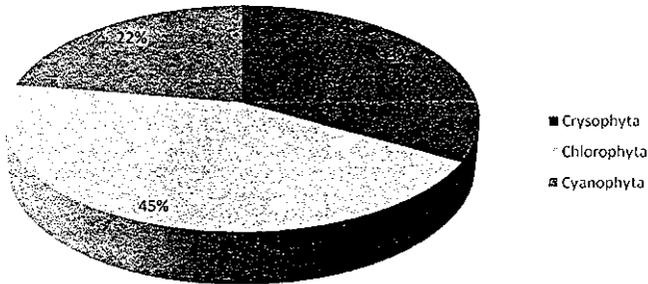


FIGURA 78
Análisis cuantitativo fitoplanctónico Afuente - El Naranjo

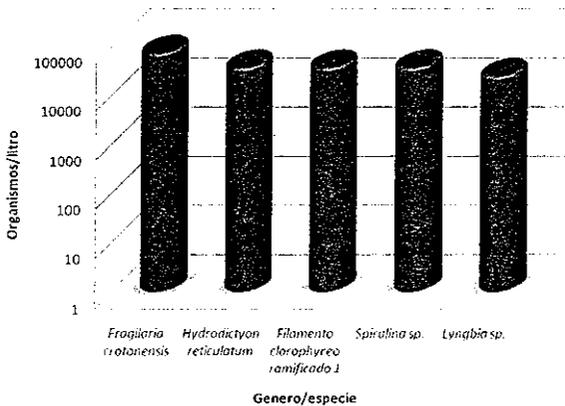


TABLA 57
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – San Pedro Ixcatán

	<i>Género / Especie</i>	<i>División</i>
1	<i>Cladophora glomerata</i>	Chl
2	Filamento clorophyceo ramificado 1	Chl
3	<i>Fragilaria crotonensis</i>	Cry
4	<i>Hydrodictyon reticulatum</i>	Chl
5	<i>Oscillatoria sp.</i>	Cya
6	Filamento clorophyceo ramificado 2	Chl
7	<i>Navicula sp.</i>	Cry
8	<i>Surirella sp.</i>	Cry
9	<i>Spirulina sp.</i>	Cya
10	<i>Lyngbia sp.</i>	Cya

FIGURA 79
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – San Pedro Ixcatán

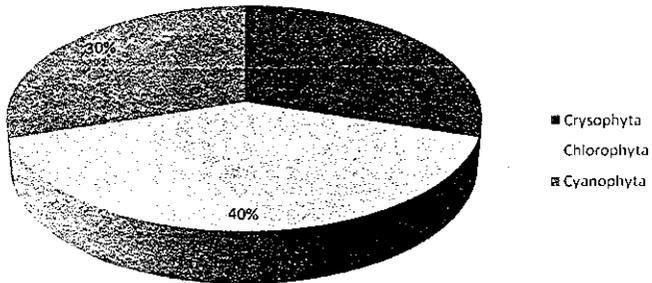


FIGURA 8o
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – San Pedro Ixcatán

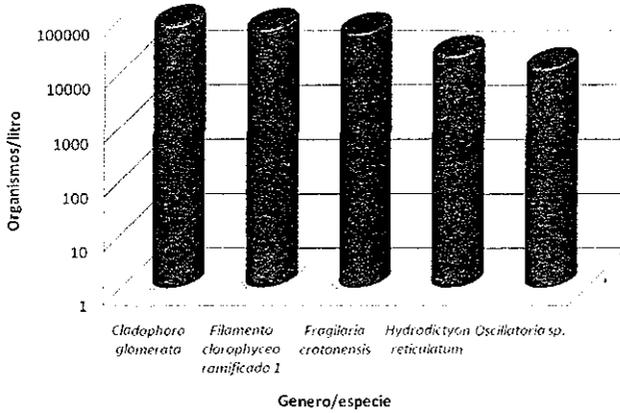


TABLA 58
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – Vado de San Pedro

	<i>Género / Especie</i>	<i>División</i>
1	<i>Filamento clorofyceo ramificado 2</i>	chl
2	<i>Hydrodictyon reticulatum</i>	chl
3	<i>Filamento clorofyceo ramificado 1</i>	chl
4	<i>Fragilaria crotonensis</i>	cry
5	<i>Navicula sp.</i>	cry
6	<i>Surirella sp.</i>	cry
7	<i>Spirogyra sp.</i>	chl

FIGURA 81
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Vado de San Pedro.

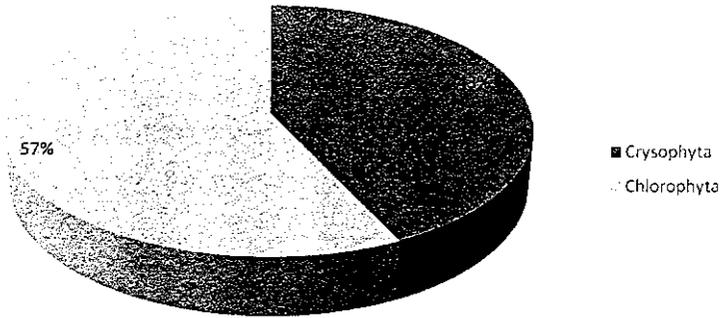


FIGURA 82
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Vado de San Pedro.

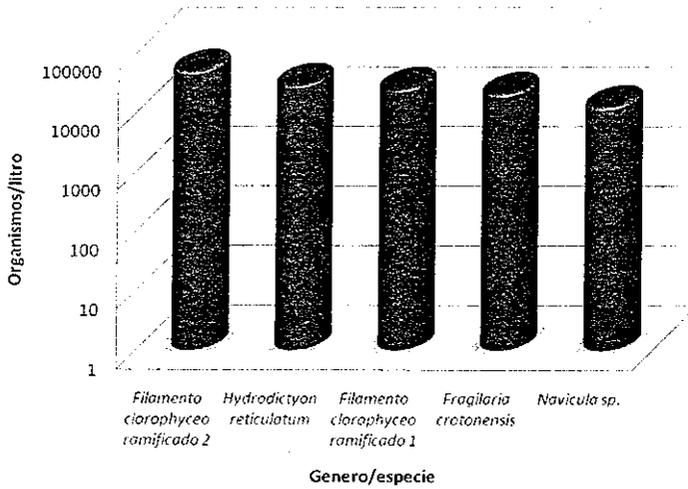


TABLA 59
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – Tuxpan

	Género / Especie	División
1	<i>Fragilaria sp.</i>	cry
2	<i>Cladophora glomerata</i>	chl
3	<i>Fragilaria crotonensis</i>	cry
4	<i>Chlorophyta filamentosa 2</i>	chl
5	<i>Navicula sp.</i>	cry
6	<i>Rhopalodia gibba</i>	cry
7	<i>Chlorophyta filamentosa 1</i>	chl
8	<i>Ulothrix sp.</i>	chl
9	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	cry
10	<i>Surirella sp.</i>	cry
11	<i>Melosira sp.</i>	cry
12	<i>Nitzschia sp.</i>	cry
13	<i>Amphora beaufortina</i>	cry
14	<i>Euglena acus</i>	eug

FIGURA 83
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Tuxpan

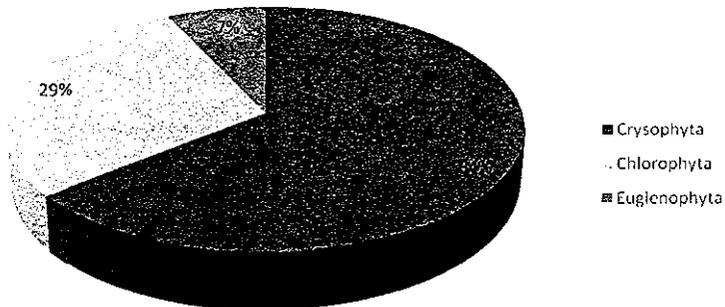


FIGURA 84
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro -Tuxpan

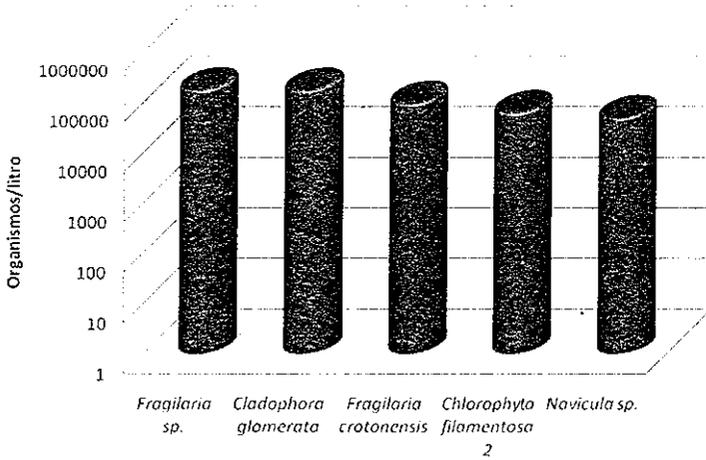


TABLA 60
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Mexcaltitán

	Género / Especie	División
1	<i>Euglena phacus</i>	eug
2	<i>Navicula sp.</i>	cry
3	<i>Eudorina elegans</i>	chl
4	<i>Chlorella sp.</i>	chl
5	<i>Microcystis aeruginosa</i>	cya
6	<i>Euglena acus</i>	eug
7	<i>Coelastrum microporum</i>	chl
8	<i>Chlorosarcina sp.</i>	chl
9	<i>Melosira sp.</i>	cry
10	<i>Oscillatoria sp.</i>	cya
11	<i>Fragilaria crotonensis</i>	cry
12	<i>Pediastrum simplex</i>	chl
13	<i>Closterium sp.</i>	chl

FIGURA 85
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Mexcaltitán

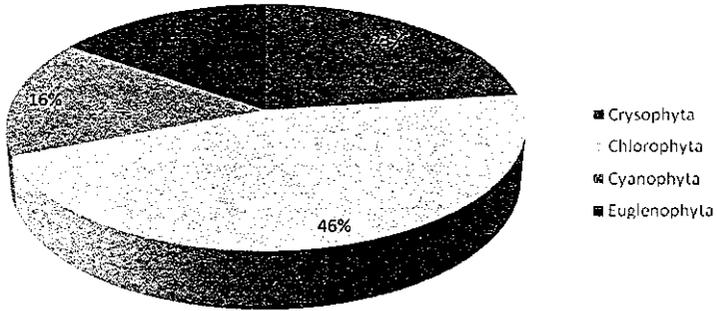


FIGURA 86
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Mexcaltitán

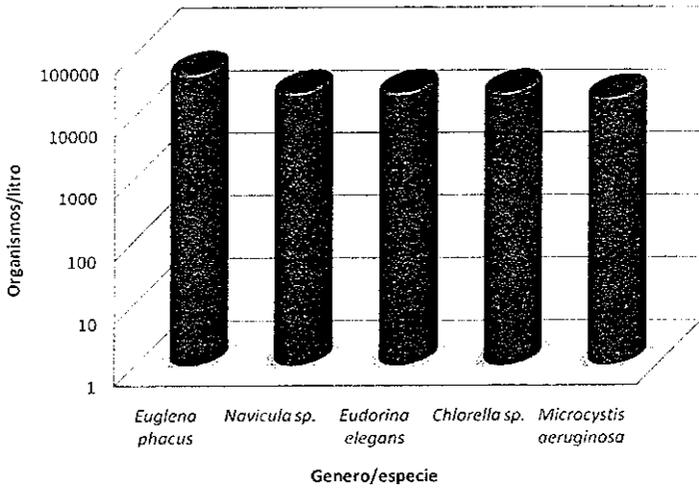


TABLA 61
Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro – Boca de Camichin

	Género / Especie	División
1	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	cry
2	<i>Navicula sp.</i>	cry
3	<i>Cyclotella sp.</i>	cry
4	<i>Spirogyra sp.</i>	chl
5	<i>Oscillatoria sp.</i>	cya
6	<i>Surirella sp.</i>	cry
7	<i>Fragilaria crotonensis</i>	cry

FIGURA 87
Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Boca de Camichin

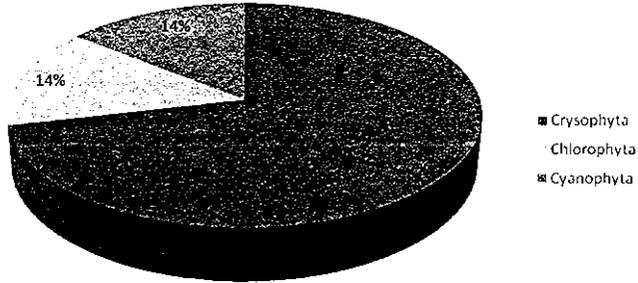
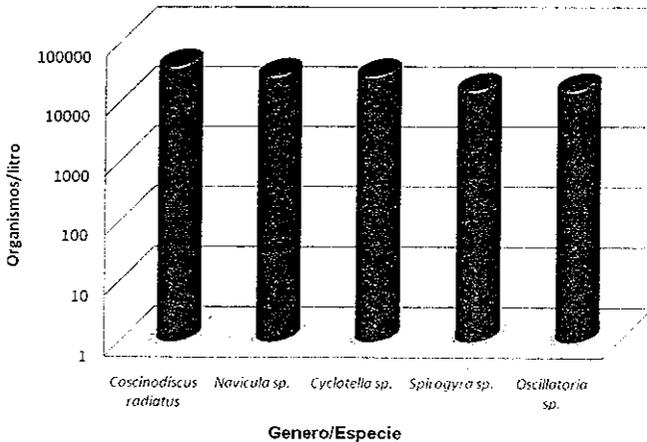


FIGURA 88
Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Boca de Camichin

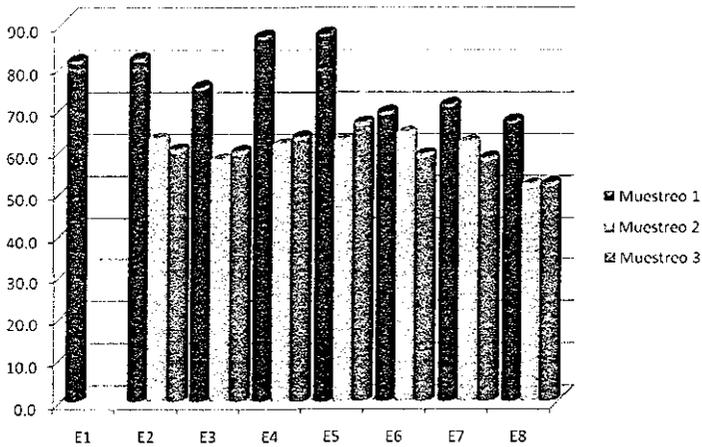


6.4 Resultados de Índice de Calidad de Aguas

TABLA 62
Índice de Calidad de Agua

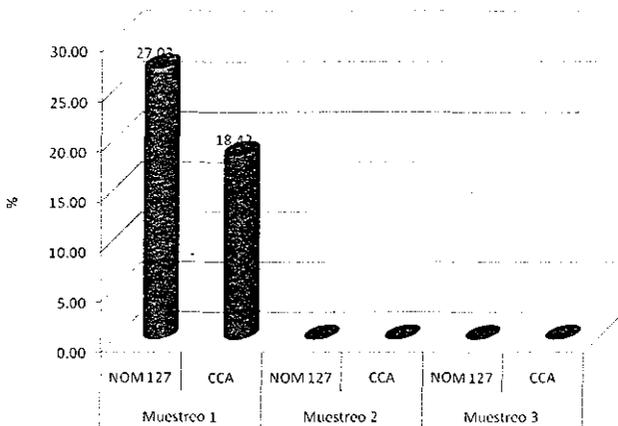
<i>Sitio</i>	<i>Muestreo 1</i>	<i>Muestreo 2</i>	<i>Muestreo 3</i>
E1	81.3	-	-
E2	81.8	62.6	60.1
E3	75.1	57.6	59.6
E4	87	61.3	63.2
E5	87.8	62.3	66.4
E6	69.1	64	58.9
E7	70.9	61.9	58.1
E8	67	51.7	52

FIGURA 89
Índice de Calidad del Agua (ICA)



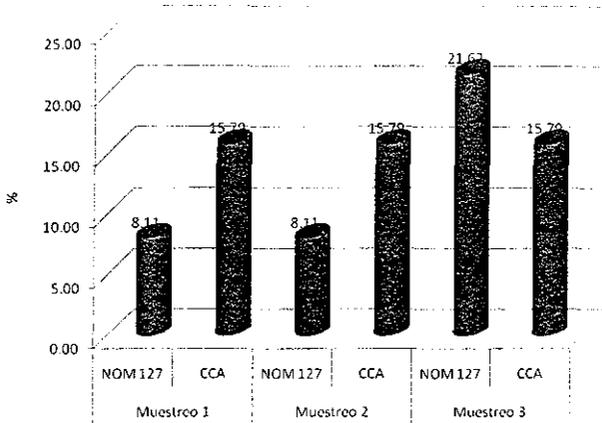
6.5 Parámetros fuera de norma

FIGURA 90
Porcentaje de parámetros fuera de norma en San Pedro - San Blasito (E1)



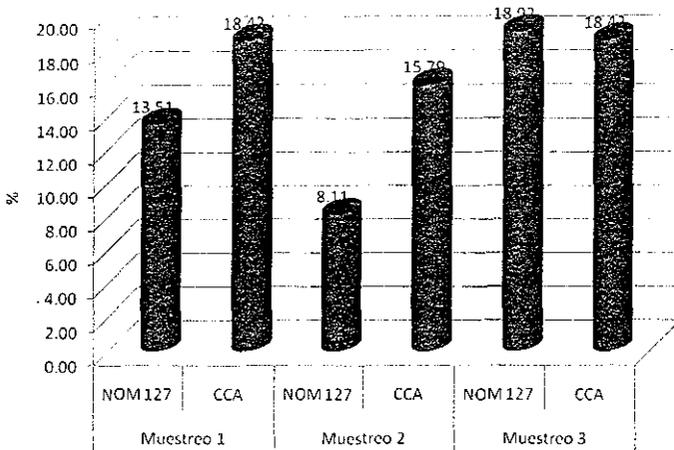
MUESTREO 1	
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001/89
Aluminio, arsénico, bario, hierro, manganeso, mercurio, plomo, turbiedad, coliformes totales, coliformes fecales (10)	Sulfatos, aluminio, bario, hierro, mercurio, coliformes fecales, coliformes totales(7)

FIGURA 91
Porcentaje de parámetros fuera de norma en Río San Pedro – Cortina (E2)



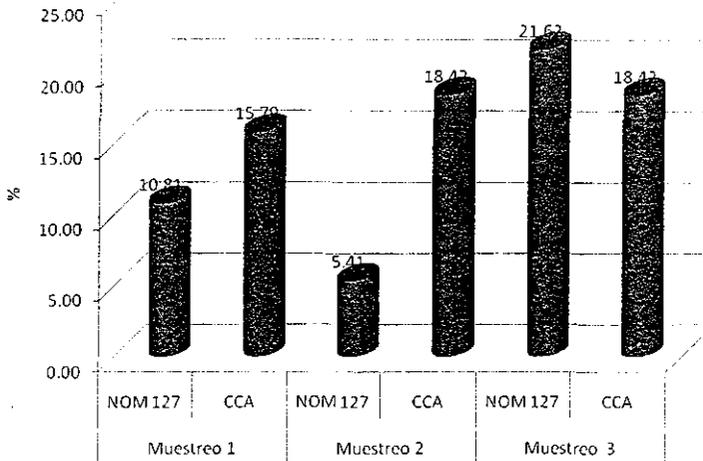
MUESTREO 1	
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001/89
Plomo, coliformes totales, coliformes fecales (3)	Oxígeno disuelto, sulfatos, aluminio, bario, coliformes fecales, coliformes totales (6)
MUESTREO 2	
Nitrógeno amoniacal, coliformes totales, coliformes fecales (3)	Coliformes totales, coliformes fecales, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, sulfatos, bario (6)
MUESTREO 3	
Coliformes totales, color, turbiedad, Dureza Total, Fenóles, Nitritos, Metales: Aluminio y Hierro.	Coliformes totales, Fenóles, Sulfatos, Metales: Aluminio, Bario y Hierro.

FIGURA 92
Porcentaje de parámetros fuera de norma en afluente El Naranja (E3)



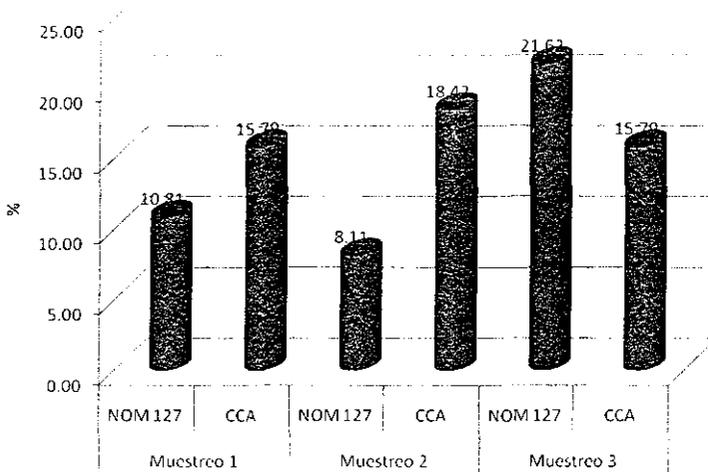
MUESTREO 1	
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001/89
Aluminio, nitrógeno amoniacal, plomo, coliformes totales, coliformes fecales (5)	Oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, sulfatos, aluminio, bario, coliformes fecales, coliformes totales (7)
MUESTREO 2	
Coliformes totales, coliformes fecales, bario (3)	Coliformes totales, coliformes fecales, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, sulfatos, bario (6)
MUESTREO 3	
Coliformes totales, color, turbiedad, Nitritos, Metales: Aluminio, Bario y Hierro.	Coliformes totales, turbiedad, Fenóles, Oxígeno disuelto, Sulfatos, Metales: Aluminio y Bario.

FIGURA 93
Porcentaje de parámetros fuera de norma San Pedro – San Pedro Ixcatán (E4)



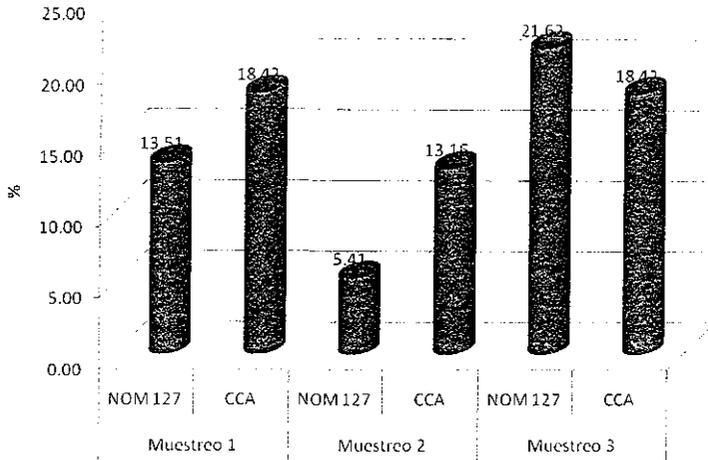
MUESTREO 1	
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001/89
Aluminio, plomo, coliformes totales, coliformes fecales (4)	Oxígeno disuelto, sulfatos, aluminio, bario, coliformes fecales, coliformes totales (6)
MUESTREO 2	
Coliformes totales, aluminio (2)	Coliformes totales, fluoruros, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, sulfatos, aluminio, bario (7)
MUESTREO 3	
Coliformes totales, <i>E. Colli</i> , color, turbiedad, Nitritos, Metales: Aluminio, Bario y Hierro	Coliformes totales, <i>E. Colli</i> , Fenóles, Sulfatos, Metales: Aluminio, Bario y Hierro.

FIGURA 94
Porcentaje de parámetros fuera de norma en San Pedro – Vado de San Pedro (E5)



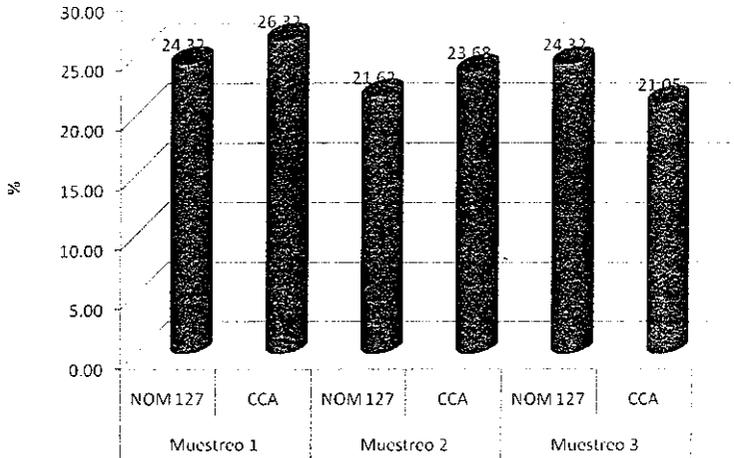
MUESTREO 1	
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001/89
Aluminio, plomo, coliformes totales, coliformes fecales (4)	Oxígeno disuelto, sulfatos, aluminio, bario, coliformes fecales, coliformes totales (6)
MUESTREO 2	
Coliformes totales, coliformes fecales, fluoruros (3)	Coliformes totales, coliformes fecales, fluoruros, nitrógeno amoniacal, sulfatos, SAAM, bario (7)
MUESTREO 3	
Coliformes totales, color, turbiedad, Fenóles, Nitritos, Metales: Aluminio y Hierro.	Coliformes totales, Fenóles, Sulfatos, Metales: Aluminio. Bario y Hierro.

FIGURA 95
Porcentaje de parámetros fuera de norma en San Pedro – Tuxpan (E6)



MUESTREO 1	
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001/89
Aluminio, plomo, nitrógeno amoniacal, coliformes totales, coliformes fecales (5)	Oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, sulfatos, aluminio, bario, coliformes fecales, coliformes totales (7)
MUESTREO 2	
Coliformes totales, fluoruros (2)	Coliformes totales, fluoruros, nitrógeno amoniacal, sulfatos, bario (5)
MUESTREO 3	
Coliformes, Color, turbiedad, Fenóles, Nitritos, Metales: Aluminio, Brio y Hierro.	Coliformes, Fenóles, Oxígeno disuelto, Sulfatos, Metales: Aluminio, Bario y Hierro.

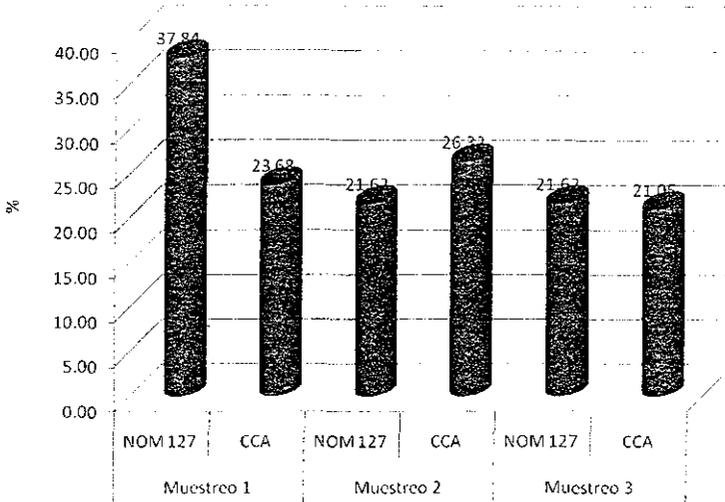
FIGURA 96
Porcentaje de parámetros fuera de norma en San Pedro – Mexcaltitán (E7)



MUESTREO 1	
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001/89
Aluminio, bario, hierro, color, plomo, turbiedad, cloruros, coliformes totales, coliformes fecales (9)	Cloruros, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, sulfatos, SAAM, aluminio, bario, hierro, coliformes fecales, coliformes totales (10)
MUESTREO 2	
Coliformes totales, coliformes fecales, cloruros, dureza total, sulfatos, aluminio, bario, sodio (8)	Coliformes totales, coliformes fecales, cloruros, fluoruros, nitrógeno amoniacal, sulfatos, SAAM, aluminio, bario (9)
MUESTREO 3	
Coliformes totales, <i>E. Colli</i> , color, turbiedad, Fenóles, Nitritos, Metales: Aluminio, Bario y Hierro.	Coliformes totales, <i>E. Colli</i> , Fenóles, Oxígeno disuelto, Metales: Aluminio, Bario y Hierro.

FIGURA 97

Porcentaje de parámetros fuera de norma en San Pedro – Boca de Camichin (E8)



MUESTREO 1	
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001/89
Aluminio, bario, hierro, manganeso, plomo, sodio, color, turbiedad, sulfatos, cloruros, dureza total, SDT, coliformes totales, coliformes fecales (14)	Oxigeno disuelto, sulfatos, SAAM, aluminio, bario, hierro, coliformes fecales, coliformes totales, cloruros (9)
MUESTREO 2	
Coliformes totales, coliformes fecales, cloruros, dureza total, sulfatos, aluminio, fierro, sodio (8)	Coliformes totales, coliformes fecales, cloruros, fluoruros, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, sulfatos, SAAM, aluminio, bario (10)
MUESTREO 3	
Coliformes totales, color, turbiedad, Cloruros, Fenóles, Nitritos, Metales: Aluminio y Hierro.	Coliformes totales, Cloruros, Fenóles, Oxígeno disuelto, Sulfatos, Metales: Aluminio, Bario y Hierro.

TABLA 63
Parámetros fuera de norma de los tres muestreos

<i>NOM-127-SSA1-1994</i>	<i>Limites permisibles</i>	<i>CCA-001/89</i>	<i>Limites permisibles</i>
Aluminio	0.20 mg/L	Aluminio	0.02 mg/L
Arsénico	0.05	Bario	1.0 mg/L
Bario	0.70	Cloruros	
Cloruro	250.00	Coliformes totales	NMP/100 ml.
Coliformes totales	2 UFC/100 ml	Coliformes fecales	1 000 (NMP/100 ml)
Coliformes fecales	Cero UFC/100 ml	<i>E. Colli</i>	
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto	Fenoles	0.3 mg/L
Dureza total	500.00	Fluoruros	1.5
<i>E. Colli</i>		Hierro	1.0
Fenoles	0.001 mg/L	Mercurio	0.001
Fluoruros	1.50	Nitrógeno amoniacal	0.06 – 0.01
Hierro	0.30	SAAM	0.5
Manganeso	0.15	Sulfatos	500.0
Mercurio	0.001	Turbiedad	
Nitritos	0.05		
Nitrógeno amoniacal	0.50		
Plomo	0.025		
SDT	1000.00		
Sodio	200.00		
Sulfatos (como SO ₄)	400.00		
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método		

6.6 Limitantes de uso en el agua estudiada

De acuerdo a los criterios de clasificación de la calidad del agua, las limitantes de uso para los intervalos de las categorías del ICA son: 0-39%, Altamente contaminado; 40-59%, Contaminado; 60-90% Levemente contaminado; 91-100% Aceptable. La Comisión Nacional del Agua genero un cuadro con las siguientes recomendaciones en su utilización según la calidad.

FIGURA 98
Criterios de clasificación de la calidad del agua

ICA	Uso Público	Recreo	Pesca y vida acuática	Industria Agrícola	Navegación	Transporte desechos tratados
100	Aceptable No requiere de purificación	Aceptable para todo tipo de deporte acuático	Aceptable para todo tipo de organismos	Aceptable No requiere de purificación		
90	Requiere una ligera purificación			Requiere una ligera purificación		
80						
70	Mayor necesidad de tratamiento		Excepción especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	
60		Aceptable pero no recomendable	Dudoso para especies sensibles			Aceptable para todo tipo de transporte de desechos tratados
50	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo para organismos muy resistentes	Con tratamiento para la mayor parte de la industria		
40	Inaceptable	Sin contacto con el agua				
30		Muestras obvias de contaminación	Inaceptable	Uso muy restringido	Contaminado	
20		Inaceptable		Inaceptable	Inaceptable	
10						Inaceptable
0						

Fuente: SEMARNAT, Comisión Nacional del agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, 200

Según el cuadro anterior, las limitantes de uso se describen en la **tabla 64**.

TABLA 64
Limitantes de uso en la calidad de agua estudiada

<i>Estudios de la calidad del agua</i>							
	Usos del agua	Uso publico	Recreo	Pesca y vida acuática	Industria agrícola	Navegación	Transporte desechos tratados
<i>(Muestreo 1)</i>							
San Blasito	81.3	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Requiere una ligera purificación	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
Cortina	81.8	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Requiere una ligera purificación	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
El Naranjo	75.1	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Requiere una ligera purificación	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
San Pedro Ixcatán	87	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Requiere una ligera purificación	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
Vado de San Pedro	87.8	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Requiere una ligera purificación	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
Tuxpan	69.1	Dudoso	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
Mexcaltitán	70.9	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Requiere una ligera purificación	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
Boca de Camichin	67	Dudoso	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>(Muestreo 2)</i>							
San Blasito	-	-	-	-	-	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
Cortina	62.6	Dudoso	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
El Naranjo	57.6	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Dudoso para especies sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
San Pedro Ixcatán	61.3	Dudoso	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
Vado de San Pedro	62.3	Dudoso	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo

<i>Estudios de la calidad del agua</i>							
	<i>Usos del agua</i>	<i>Uso publico</i>	<i>Recreo</i>	<i>Pesca y vida acuática</i>	<i>Industria agrícola</i>	<i>Navegación</i>	<i>Transporte desechos tratados</i>
<i>Tuxpan</i>	64	Dudoso	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>Mexcaltitán</i>	61.9	Dudoso	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>Boca de Camichin</i>	51.7	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo para organismos muy resistentes	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>(Muestreo 3)</i>							
<i>San Blasito</i>	-	-	-	-	-	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>Cortina</i>	60.1	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo para organismos muy resistentes	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>El Naranjo</i>	59.6	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo para organismos muy resistentes	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>San Pedro Ixcatán</i>	63.2	Dudoso	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>Vado de San Pedro</i>	66.4	Dudoso	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>Tuxpan</i>	58.9	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Dudoso para especies sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>Mexcaltitán</i>	58.1	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Dudoso para especies sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo
<i>Boca de Camichin</i>	52	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Dudoso para especies sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo

6.7 Resultados del análisis de fluorescencia de rayos X (FRX)

El análisis mediante el FRX en sedimentos se utilizó para obtener concentraciones totales de metales y determinar su nivel de contaminación en la columna de agua. A continuación se presentan los resultados obtenidos según el análisis.

6.7.1 Concentración de metales

TABLA 65
Concentraciones (%) de metales encontrados en sedimentos en la localidad Cortina

	Elementos								
	Al	Ba	Ca	Fe	K	Mn	P	Si	Ti
Muestreo 1	0.79	0.15	0.71	4.42	1.45	0.1	0.19	5.17	0.35
Muestreo 2	-	-	0.13	-	-	-	0.15	-	-
Muestreo 3	0.44	-	0.66	2.99	1.08	-	0.18	3.32	0.24

FIGURA 99
Contenido porcentual de metales en la localidad Cortina, municipio Amatlán de Cañas

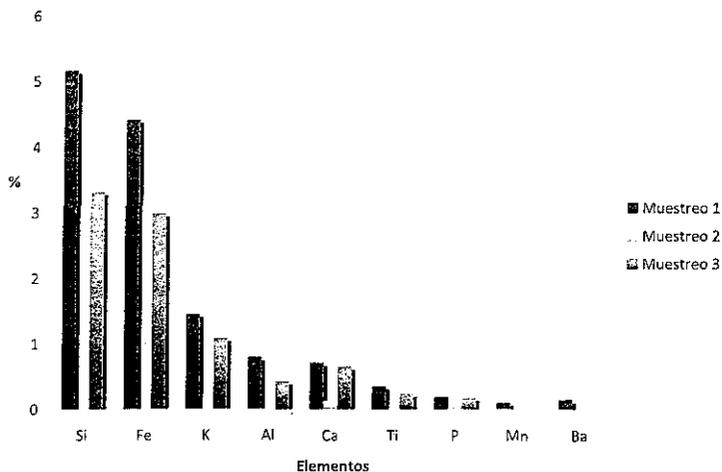


TABLA 66
Concentraciones (%) de metales encontrados en sedimentos del afluente
El Naranjo, municipio de Ruiz

	<i>Elementos</i>									
	<i>Al</i>	<i>Ba</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>K</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>	<i>Ti</i>	
Muestreo 1	0.45	-	0.56	3.27	0.87	0.23	0.17	3.58	0.18	
Muestreo 2	-	-	0.21	1.61	0.16	-	0.16	0.38	-	
Muestreo 3	0.64	0.14	0.67	3.82	1.54	-	0.19	4.72	0.3	

FIGURA 100
Contenido porcentual de metales en afluente El Naranjo, municipio de Ruiz

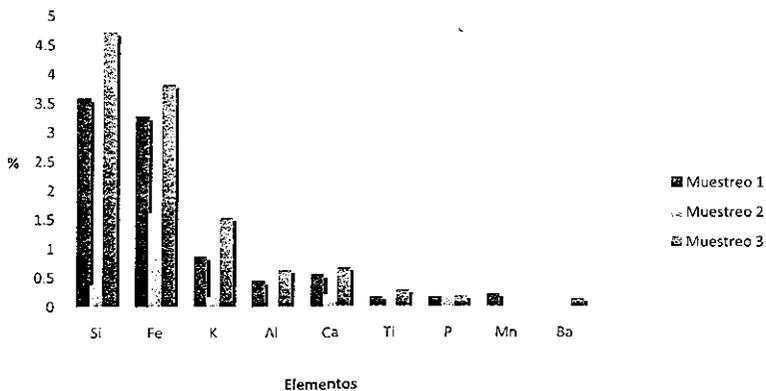


TABLA 67
Concentraciones (%) de metales presentes en sedimentos de San Pedro Ixcatán,
municipio de Ruiz

	<i>Elementos</i>								
	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>	<i>Sr</i>	<i>Ti</i>	
Muestreo 1	0.31	0.56	3.81	0.86	0.16	2.34	-	0.23	
Muestreo 2	-	1.02	2.2	0.37	0.16	0.55	-	0.15	
Muestreo 3	0.48	0.74	4.94	1.26	0.17	3.43	0.11	0.46	

FIGURA 101
 Contenido porcentual de metales en San Pedro Ixcatán, municipio de Ruiz

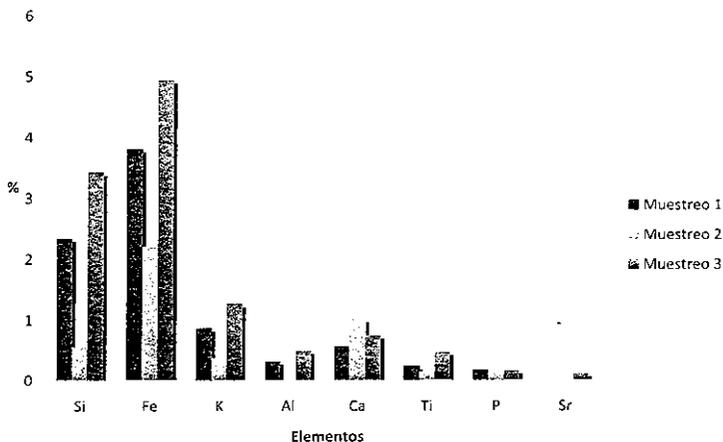


TABLA 68
 Concentraciones (%) de metales en sedimentos de Vado de San Pedro, municipio de Ruiz

	Elementos								
	Al	Ba	Ca	Fe	K	P	Si	Sr	Ti
Muestreo 1	0.18	-	0.61	2.87	0.85	0.15	1.6	-	0.24
Muestreo 2	0.11	-	0.23	0.9	0.21	0.16	0.97	-	-
Muestreo 3	0.53	0.11	0.74	4.63	1.24	0.18	3.56	0.10	0.36

FIGURA 102
 Contenido porcentual de metales en Vado de San Pedro, municipio de Ruiz

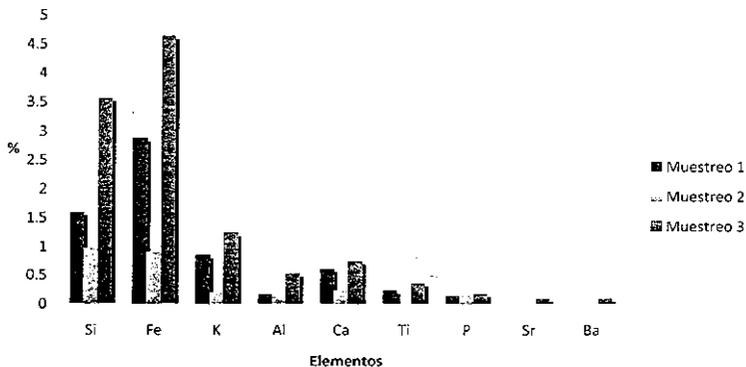


Tabla 69
Concentraciones (%) de metales presentes en sedimentos de Tuxpan

	<i>Elementos</i>									
	<i>Al</i>	<i>Ba</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>K</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>	<i>Sr</i>	<i>Ti</i>
Muestreo 1	1.02	0.14	0.95	5.12	1.73	0.1	0.2	6.42	0.12	0.54
Muestreo 2	0.47	-	0.54	2.27	1.09	-	0.18	3.36	-	0.17
Muestreo 3	-	-	0.15	-	-	-	0.15	0.47	-	-

FIGURA 103
Contenido porcentual de metales de Tuxpan

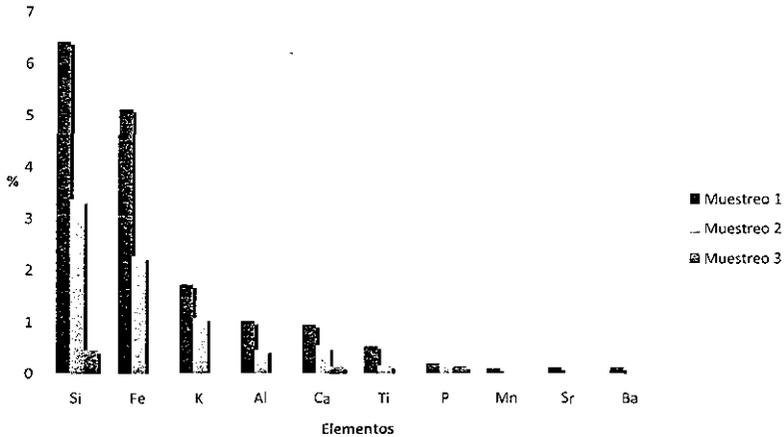


TABLA 70
Concentraciones (%) de metales presentes en sedimentos de Mexcaltitán,
municipio Santiago Ixcuintlá

	<i>Elementos</i>								
	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Cl</i>	<i>Fe</i>	<i>K</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>	<i>Ti</i>
Muestreo 1	0.38	1.11	-	5.82	1.02	0.13	0.17	2.61	0.64
Muestreo 2	0.4	0.82	-	4.25	0.85	0.1	0.19	2.59	0.24
Muestreo 3	0.4	0.88	0.1	4.79	0.92	0.11	0.19	2.66	0.26

FIGURA 104

Contenido porcentual de metales de Mexcaltitán, municipio Santiago Ixcuintlá

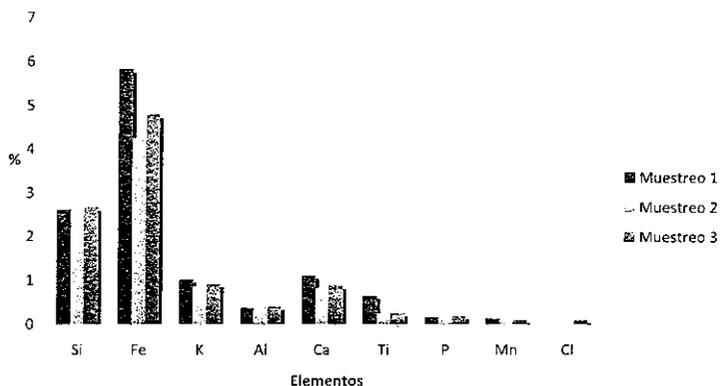


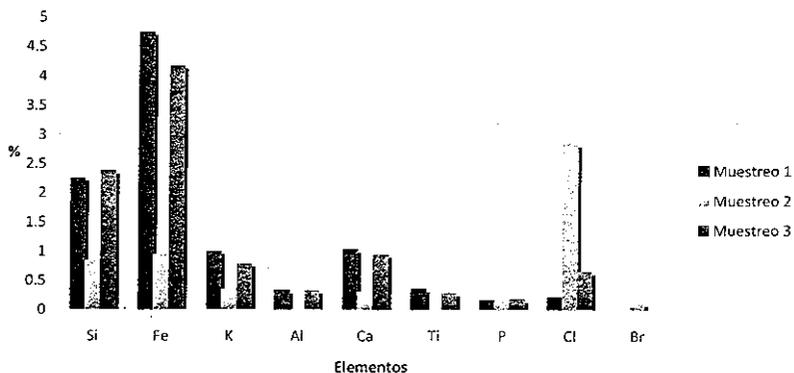
TABLA 71

Concentraciones (%) de metales presentes en sedimentos de Boca de Camichin, municipio de Santiago Ixcuintlá

	<i>Elementos</i>									
	<i>Al</i>	<i>Br</i>	<i>Ca</i>	<i>Cl</i>	<i>Fe</i>	<i>K</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>	<i>Ti</i>
Muestreo 1	0.33	-	1.03	0.22	4.74	1	-	0.17	2.25	0.36
Muestreo 2		0.12	0.3	2.84	0.93	0.35	-	0.15	0.83	-
Muestreo 3	0.34	-	0.94	-	4.17	0.79	0.66	0.19	2.38	0.3

FIGURA 105

Contenido porcentual de metales de Boca de Camichin, municipio de Santiago Ixcuintlá



En la **tabla 72** se presenta la asociación de los elementos encontrados en cada sitio muestreado.

TABLA 72
Diferencia química de cada sitio

		SITIOS DE MUESTREO						
		<i>Cortina</i>	<i>El Naranja</i>	<i>San Pedro Ixcatán</i>	<i>Vado de San Pedro</i>	<i>Tuxpan</i>	<i>Mexcaltitán</i>	<i>Boca de Camichin</i>
COMPOSICIÓN ELEMENTAL	MAYORITARIOS	Al						
		Ba						
		Br						
		Ca						
		Cl						
		Fe						
		K						
		Mn						
		P						
		Si						
		Sr						
		Ti						

6.7.2 Descripción de metales

En la actualidad no existe una normativa específica para sedimentos en cuerpos de aguas continentales sobre los niveles permitidos de metales pesados, por tanto, para la interpretación de los resultados obtenidos se tomo como referencia la base de datos ATSRD (Agency for Toxic Substances Disease Registry) que menciona los límites permitidos por la EPA.

En la **tabla 73** se presentan los límites de la EPA para metales en sedimentos.

TABLA 73
Límites establecidos por la EPA

METAL	%	ppm	mg/L
Aluminio	1.00	1	0.4-1
Bario	0.0002	2.0	2.0*
Bromo	—	—	—
Calcio	—	—	—
Cloruros	0.025	250	250
Estroncio	0.0004	4 ppm	4
Fosforo	—	—	—
Hierro	0.00003	0.3	0.3
Manganeso	0.000005	0.05	0.05
Potasio	—	—	—
Silicio	<20	<200,000	<200,000
Titanio	0.03	310.000	310

Se describen los metales que presentaron mayor concentración y exceden los niveles de referencia, y que por lo tanto son considerados contaminantes.

Cloruros

En la naturaleza existen pocos cloruros orgánicos. Suelen tener mala biodegradabilidad y permanecer durante años en el medio ambiente. Se evapora de las aguas en la superficie, pero no aguas subterráneas. Además, no sufre ninguna degradación como resultado de la actividad microbiana. Viaja libremente, lo que le permite llegar a grandes distancias dentro de un manto de agua (Harte, et al., 1991). Los cloruros (ion cloruro) se encuentran en el agua natural y agua residual, un alto contenido en cloruros podría dañar tuberías metálicas y estructuras, además de las plantas (Martínez Rodríguez, 2002). Debido a su carácter hidrofóbico se acumulan en las grasas, especialmente en los últimos eslabones de la cadena alimenticia y pueden provocar problemas de salud. Por lo que esto hace que el cloruro sea muy importante en la vida de las personas (Harte, et al., 1991).

Estroncio

El estroncio es un sólido blanco soluble en agua (Harte, et al., 1991), proviene de rocas y suelos sobre o a través de los cuales fluyen corrientes de agua. Solamente una pequeña porción del estroncio que se encuentra en el agua se deriva de la deposición de polvo de estroncio en el aire. Cierta cantidad de estroncio se encuentra suspendida en el agua (ATSRD). Entra a la cadena trófica principalmente como resultado de su depósito en los suelos y la subsiguiente absorción por las plantas (Harte, et al., 1991).

Hierro y Manganeseo

El hierro y el manganeso son contaminantes que se encuentran con mayor frecuencia en los cuerpos de agua. La EPA considera al hierro como un contaminante secundario, es decir, una consideración estética antes que una consideración por la salud (Puentes, 2011).

La presencia de hierro y manganeso se encuentra en forma soluble, al oxidarse, se precipita generando un color oscuro que provoca el rechazo de los consumidores, manchan la ropa, obstruyen tuberías, accesorios y bombas. Otros de los problemas frecuentes asociados a su presencia en el agua, es el arrastre de los óxidos depositados en los interiores de las tuberías por el mismo flujo del agua, originando una coloración negra a la misma (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, 2005).

El hierro esta presente en una amplia variedad de aguas residuales industriales, incluyendo operaciones de minería (actividades que se realizan en el municipio de Ruiz), aguas residuales de la industria química, manufactura de tintas, procesamiento de metales, de fábricas textiles, refinación de petróleo y otros. El hierro existe en las formas férricas y ferrosas, dependiendo del pH y la concentración de oxígeno disuelto (Martínez Rodríguez, 2002).

Silicio

Es el metal con mayor presencia en los muestreos, y posee las concentraciones más altas respecto a los metales encontrados.

El Silicio es el segundo elemento de mayor abundancia en la litosfera. Es considerado un nutriente esencial para ciertas diatomeas y para el crecimiento de algas. El Silicio se combina con oxígeno para formar silicatos insolubles en agua; tiende a salir en un ambiente aeróbico; impide la abundancia y la toxicidad de distintos elementos (Fuentes F., Massol-Deyá A., 2002; Aguirre et al., 2007) y su solubilidad en el agua aumenta con la temperatura. No tiene efectos tóxicos conocidos (Fuentes F., Massol-Deyá A., 2002; Ramírez, et al., 2007).

Además de provenir de descargas industriales y domésticas, se conocen dos fuentes primarias de silicio en los ambientes acuáticos: 1) provienen la meteorización de depósitos minerales o el desgaste de feldespatos presentes en sedimentos, y 2) provienen de el aporte alóctono (exógeno) de sedimentos de cuerpos de agua eutróficos (material absorbido a arcillas) (Fuentes F., Massol-Deyá A., 2002).

El silicio es un elemento vital en diversas industrias. El dióxido de silicio (arena y arcilla) es un importante constituyente del hormigón y los ladrillos, se emplea en la producción de cemento y materiales de construcción. También se utiliza como elemento fertilizante en forma de mineral primario para la agricultura, y es usado para formar capas protectoras internas en las tuberías para inhibir la corrosión (Red Escolar SEP, 2010; Fuentes F., Massol-Deyá A., 2002; LENNTECH, 2011).

Titanio

Es un metal abundante en la naturaleza; se considera que es el cuarto metal estructural más abundante en la superficie terrestre y el noveno en la gama de metales industriales. No se en-

cuentra en estado puro sino en forma de óxidos. (Aparicio- Bádenas y Rodríguez-Rius, 2001). Se encuentra en cenizas de carbón, en las plantas y en el cuerpo humano; en rocas ígneas y en los sedimentos procedentes de ellas (UAM, 2001). Algunos de los compuestos de titanio pueden depositarse y permanecer largo tiempo en el suelo o el agua depositados en el sedimento del fondo (ATSDR).

Se emplea en aleaciones con aluminio, molibdeno, manganeso, hierro, y otros metales. Estas aleaciones se usan en industrias donde son necesarios materiales resistentes, ligeros y capaces de resistir temperaturas extremas (UAM, 2001), como, petroquímica, agroindustrial, médica, entre otras. Es usado como un pigmento blanco en pinturas y en otros productos, y para producir otras sustancias químicas (ATSRD). El metal titanio y sus compuestos se consideran fisiológicamente inertes (UAM, 2001), Tienen un nivel bajo de toxicidad y no se han documentado efectos ambientales negativos del titanio (LENNTECH, 2011).

7

Discusión

Diagnóstico de la calidad de agua por parámetro

Respecto a la disponibilidad del agua en un país, no solamente es necesario saber qué cantidad de agua está al alcance en las diferentes fases del ciclo hidrológico, además, deben conocerse las características físico - químicas y bacteriológicas para estar en condiciones de darle un determinado uso para diferentes actividades productivas y como agua potable en el abastecimiento a sus poblaciones.

Es conocido que el ambiente se daña seriamente debido a la contaminación del agua a causa de descargas de aguas residuales, drenaje agrícola o residuos industriales, muchos organismos que viven y se reproducen en el agua son afectados por la contaminación del ecosistema fluvial, puede generar efectos acumulativos de sedimentación, puede modificar el ciclo vital de otras especies animales y vegetales, y pueden afectar la condición de vida de seres humanos que se encuentren a su alrededor.

En este estudio se observa que la contaminación existe en la mayor parte del río San Pedro, provocada principalmente por la descarga de aguas residuales y drenaje agrícola (donde afectan algunas industrias agrícolas próximas a Tuxpan), ya que usan el río como vía de eliminación de sus desechos y caudales que descienden a los municipios Ruiz, Tuxpan y Santiago Ixcuintla en el estado de Nayarit.

Respecto al análisis de los componentes físicos, químicos y biológicos del agua que más influyen en la contaminación del río están dados río arriba del afluente, y el deterioro biológico y ecológico prevalece río abajo.

Los resultados de calidad de agua del río muestran un pH neutro (entre pH 7 y pH 8) la variación entre cada estación y sus respectivos muestreos, es mínima. Estudios previos han establecido que el pH adecuado para su uso o consumo debe ser no menos de 4.5 y no más de 9.5 (Martínez Rodríguez, 2002). La temperatura no se muestra en el rango tolerable para el consumo humano, de acuerdo con la **figura 9** todos los sitios de estudio se encuentran en un rango de 20 a 35°C, al respecto, la mayoría de las personas encuentran que el agua a una temperatura entre 10 y 15°C (fría) es más placentera para su consumo, mientras que arriba de 30°C no es aceptable (Echarri, 1998; Martínez Rodríguez, 2002). Así pues, el agua caliente se considera un contaminante. La temperatura del agua determina la clase de organismos que pueden vivir y reproducirse en ella, ya que la temperatura gobierna la cantidad de oxígeno

disuelto disponible. El oxígeno se combina más rápidamente con los desechos orgánicos a medida que aumenta la temperatura, de ahí que el oxígeno pueda consumirse con mayor rapidez de lo que se restituya al ir el agua "río abajo", y su contenido de oxígeno pueda desaparecer completamente (Martínez Rodríguez, 2002).

Los altos valores de salinidad y cloruros presentes en Mexcaltitán y Boca de Camichín se deben a la influencia de aguas marinas procedentes del pacífico sobre las aguas continentales.

De acuerdo con Martínez Rodríguez (2002) el color y la turbidez son parámetros fundamentales para determinar la calidad del agua. La presencia de material suspendido (barro, arena, material orgánico finamente dividido, plancton y otros materiales inorgánicos) dan al agua una apariencia turbia. La mayor captación de estos materiales se da inmediatamente después de entrar en el canal principal del río, en nuestro caso San Blasito, para el resto de los sitios fue determinado un exceso de 5 unidades en septiembre de 2009 periodo en el que se registran lluvias. El color sobrepasa de forma significativa las 20 unidades (límite de NOM-127) sobre todo en Tuxpan y Boca de Camichín, sitios donde la confluencia del río desemboca en el pacífico. El color determina el valor de uso del agua en las poblaciones, y este se da por la presencia de hierro y manganeso.

La alta presencia de coliformes totales (en todos los sitios, excepto San Blasito con un valor máximo de 103,000 UFC/100 ml) y coliformes fecales (encontrados solo en San Pedro Ixcatán y Mexcaltitán, con valores máximos de 78,100 UFC/100 ml y 103,000 UFC/100 ml respectivamente) es un indicio de que el agua residual doméstica y urbana (aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición) es vertida al río sin ningún tratamiento previo. Estas aguas residuales presentan una elevada carga contaminante que responde, en gran parte, a la materia orgánica que contienen, en cuya composición se encuentran los compuestos de nitrógeno (nitrógeno en forma de nitritos y nitrógeno en forma de nitratos). El nitrógeno amoniacal se ve influido por la actividad biológica del río e indica la presencia de condiciones anaerobias. Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden principalmente las sales inorgánicas de calcio, magnesio, potasio, sodio, cloruros, sulfatos y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. La presencia de concentraciones altas de SDT en el agua de consumo procede de fuentes naturales, aguas residuales, y escorrentía urbana. La presencia de nutrientes así como de los metales presentes en el agua y sedimentos, puede explicarse mediante la contaminación industrial.

En todos los sitios muestreados se presenta una alta concentración de fitoplancton que superan el número de 1,000 o 10,000 organismos por litro, variando la presencia de especies en cada área y periodo de muestreo. Las especies más comunes encontradas en el primer muestreo fueron: *Fragilaria capucina* (entre otras variedades), *Navicula sp.*, *Synedra ulna*, que pertenecen a las Crysophytas. En el segundo muestreo (inicio de junio, periodo en el que coinciden las primeras lluvias) hay una mayor presencia de especies de fitoplancton, caracterizadas en: crysophytas, chlorophytas, cyanophytas y euglenphytas. El sitio donde se presentó un mayor número de especies (30 especies) fue en el afluente El Naranjo. En el tercer muestreo hay una disminución en el número de especies encontradas respecto al segundo muestreo, sin embargo, persisten variedades de *Fragilaria sp.*, *Navicula sp.*, *Ulothrix sp.*, *Euglena sp.*, entre otros. En el afluente 'El Naranjo' coincide en los muestreos con la mayor cantidad (valor superior a los 10,000 organismos por litro) de organismos encontrados.

De acuerdo con Fontúrbel et al., en 2006, la alta presencia de ciertas especies de fitoplancton surgen gracias a un incremento en la concentración de nutrientes en el río. Los altos niveles de fitoplancton son responsables de una elevada actividad fotosintética que conducen a la producción de gran cantidad de biomasa y de oxígeno disuelto, esto, sirve de alimento para los consumidores primarios, dando lugar al bacterioplancton (se refiere al componente bacteriano que se desplaza en la columna de agua) que es responsable de consumir gran parte del oxígeno disuelto del agua (generando condiciones de anoxia) al oxidarse la materia orgánica. Usualmente también se incrementa la cantidad de sólidos en el agua, aumentando la turbidez del medio y reduciendo la incidencia de la radiación fotosintéticamente activa ocasionando un efecto en cascada sobre grupos clave de animales y plantas del medio acuático.

El estudio de la problemática ambiental que presenta el río San Pedro, al igual que la mayor parte de los cuerpos de agua, se hace necesario, ya que recibe aportes de aguas residuales, la mayoría, sin tratamiento. Los metales ocupan un lugar importante dentro de los contaminantes químicos que, con carácter prioritario, se determinan en las muestras ambientales debido a sus características y a su tendencia de acumulación en diferentes organismos.

En el estudio de agua y sedimentos, se encontraron en condiciones críticas los siguientes metales: Aluminio, Arsénico, Bario, Hierro, Manganeseo, Mercurio, Plomo, Sodio. Además por el método de prueba de FRX se encontraron como contaminantes: Silicio, Hierro, Titanio, Cloruro, Estroncio y Manganeseo.

Los metales analizados presentan diferencias significativas entre cada uno de los sitios por cada muestreo. En las **tablas de la 28 a la 30 y figuras de la 31 a la 39**, se muestran los elementos metálicos que superan el límite de detección (0.05 mg/L) o elementos metálicos que se encuentran por debajo del límite de detección.

Diversos autores mencionan que los niveles de solubilidad de los metales cambian de acuerdo a las condiciones climáticas e hidrológicas que presente el río, por ejemplo, en la temporada de lluvias la solubilidad aumenta contrario en la estación seca debido a la desorción. Las variaciones de pH, los cambios redox, la precipitación de compuestos insolubles y la formación de complejos, dan lugar a cambios de las especies metálicas, y de esta forma se afecta la movilidad de los metales (González A., et al., 2004) de ahí las variaciones en los sitios. También deben considerarse factores que influyen, las actividades económicas y turísticas, ya antes mencionadas, que se realizan en los municipios.

El origen de los metales del río proviene de dos fuentes: 1) forman parte de los macronutrientes del suelo del río o fueron traídos a través de la escorrentía del mismo, y 2) provienen de descargas urbanas hechas al inicio del afluente. La presencia de metales en el agua (Aluminio, Arsénico, Mercurio y Plomo) provienen de aguas residuales y, según Harte, et al. (1991) están relacionados con la acidez de las aguas superficiales.

Los metales encontrados en los sedimentos que podrían afectar a las condiciones del río son (en orden de mayor a menor concentración): Silicio, Hierro y Titanio. La presencia de estos sugiere que son el resultado de productos químicos o materiales industriales depositados en el río.

Análisis del índice de calidad de agua

Se calculó el índice de calidad del agua como método estandarizado para poder evaluar la condición del agua de manera integral entre localidades del río San Pedro en el estado de Nayarit, y además, para determinar de una manera más precisa las condiciones en las que se encuentra la calidad de agua del río se realizó una comparación de calidad de resultados obtenidos en investigaciones previas del río Santiago, ya que la calidad de agua que presenta el río Santiago es característica a un ambiente contaminado por aguas residuales urbanas e industriales.

TABLA 74
Clasificación de la calidad de agua encontrada en el estudio en forma de ICA

ICA	San Blasito	Cortina	ElNaranjo	San Pedro Ixcatán	Vado de San Pedro	Tuxpan	Mexcaltitán	Boca de Camichín
Muestreo 1	81.3	81.8	75.1	87	87.8	69.1	70.9	67
Muestreo 2		62.6	57.6	61.3	62.3	64	61.9	51.7
Muestreo 3	-	60.1	59.6	63.2	66.4	58.9	58.1	52



TABLA 75
Clasificación de la calidad de agua encontrada en el río Santiago en forma de ICA

ICA	Presa Santa Rosa	Río Santiago antes de unión con el Arroyo Tequila	Río Santiago cerca a la confluencia Río Bolaños	Presas La Yesca	Presas Aguamilpa	Presas El Cajón
Muestreo 1	20.1	19	57.44	54.28	57.32	52.167
Muestreo 2	22.18	68.09	68.69	67.62	64.69	48.33
Muestreo 3	17.91	44.65	49.32	49.28	62.03	45.91
Muestreo 4	18.21	52.73	51.48	51.66	62.67	

Fuente: Manifestación de Impacto Ambiental P.H. La Yesca realizado en 2005, y, Monitoreo de calidad de agua durante el llenado del embalse de El Cajón en 2008.

De acuerdo con los resultados que se muestran en la **tabla 74**, indican que la calidad del agua para uso y consumo del río San Pedro fue de Calidad Media (ICA de 50 a 80). El 72% de los sitios muestreados dentro de la cuenca hidrológica de San Pedro se encuentran contaminados (ICA de 50 a 69). El 9% se encuentra levemente contaminado (ICA de 70 a 80). Por último el 18% de los sitios se encontró aceptable (ICA de 80 a 90). Los valores del estudio indican que la calidad a lo largo del flujo del río San Pedro, desde Cortina hasta Vado de San Pedro es aceptable y el nivel de contaminación se presenta de Tuxpan a Boca de Camichín.

El ICA ambos ríos indica que el cauce del río San Pedro presenta un ICA promedio de 65, según la clasificación del agua CNA condiciones de “contaminación”, con respecto a una “contaminación fuerte” del río Santiago, con un ICA promedio de 48. Valores coherentes con la naturaleza de las aguas estudiadas.

8

Conclusiones

Estudios como el desarrollo en la presente tesis permiten la participación interdisciplinaria en la que áreas profesionales como la química, la ingeniería ambiental, la biología, la hidrología, entre otras pueden confluir en el campo de la salud ambiental y proporcionar elementos de análisis para el diagnóstico y propuestas de atención al recurso.

El valor metodológico de este proyecto se refiere a la caracterización de los parámetros que califican la composición del agua y el uso de la misma. La posible generación de proyectos derivados de la base diagnóstica aquí presentada, permitirá la futura integración de estudios para el uso del recurso hídrico en condiciones críticas de contaminación, así como profundizar en la determinación de los metales pesados u otros indicadores de contaminación. De los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

1. La contaminación observada en el río San Pedro, Nayarit, es de tipo microbiológico, seguido por compuestos fisicoquímicos. En las muestras estudiadas no se registró presencia de plaguicidas.
2. Los altos valores en los parámetros microbiológicos, como: coliformes totales y fecales; y los valores de fisicoquímicos, como: color, turbiedad, dureza total, fenoles, fluoruros, nitrógeno amoniacal, sulfatos, SDT, y detergentes; limitan o facilitan el crecimiento de vida acuática, así como el uso agrícola y pecuario del agua.
3. Se determinó que el agua del río San Pedro, Nayarit, esta *contaminada* y no es adecuada para el uso y consumo humano, excepto para organismos acuáticos resistentes a ella. Los valores ICA corresponden en un inicio del estudio con un valor promedio de 81 para el primer muestreo, seguido por 60 en el segundo muestreo y finalizando con un valor promedio de 59, indicando un descenso en la calidad.
4. Se identifico un máximo de 150 especies de fitoplancton en el mes de Junio de 2009, 54 especies en Noviembre de 2008, y 72 para Septiembre de 2009 pertenecientes a los grupos: Crisophytas, Clorophytas, Cyanophytas y Euglenophytas. Las grandes poblaciones de plancton sugieren que el río presenta un alto grado de eutroficación, incrementos en la materia orgánica, salinidad y cambios en la mineralización del agua (se refiere al intercambio de las cualidades de un mineral al agua).
5. Los valores de concentración de los metales pesados se encuentran en niveles de concentración que evidencian diferentes grados de toxicidad. Se comprueba que la contaminación por Fe, Hg, Pb, Mn, Si y Ti tienen origen antropogénico, siendo los vertidos

existentes en el municipio de Ruiz y Tuxpan las principales fuentes de contaminación por metales pesados.

Es evidente una ausencia de tratamiento en las descargas, la cantidad de microorganismos patógenos presentes es una señal de alerta sanitaria a la población. El río requiere de un saneamiento básico (limpieza en los bordes del río, plantas de tratamiento, reutilización del agua) que elimine los contaminantes que se han acumulado durante muchos años, para que restablezca el valor ecológico del río.

Bibliografía

- Adriano, D.C. (1986). Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag. New York, pp 533.
- Agency for Toxic Substances Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs™.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2000). Documento EPA 815-F-00-007
- Aguirre C., Chávez T., García P., Raya J.C., (2007) El silicio en los organismos vivos. *Interciencia*. Vol. 32: 504-509
- Ahumada R., Contreras S. (2002). Contenido de metales (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, V y Zn) en los sedimentos marinos de la región patagónica, Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*. 25 (2): 77-86.
- Albert, L. (1990). Curso básico de toxicología ambiental. Editorial Noriega Limusa. México.
- Aparicio -Bádenas C., Rodríguez-Rius D. (2001). Aleaciones ligeras. Barcelona [e-Book]
- Ambrosetti, W., et al.: (2003). Residence time and physical processes in lakes. *J. Limnol.* 62 (Suppl. 1): 1-15.
- Arce García, O. (2000). Metales pesados presentes en el agua. Manual de prácticas. Universidad Mayor de San Simón. Bolivia. <http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicass/practica4.pdf>
- Baruah, N.K., et al., (1996) Metal speciation in Jhanji River sediments. *The Science of the Total Environment* 193: 1-12.
- Belkin, H.E., Sparck, H.M (1993). Mercury, arsenic, antimony, and selenium contents of sediment from the Kuskokwim River, USA. *Environmental Geology* 22: 106-110.
- Calmano, W., et al. (1993). Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. *Water Science Technology*. 28(8-9): 223-235.
- Campbell, P.G.C., Tessier, A. (1987). *Metals Speciation, Separation and Recovery*. Lewis. Michigan, 201-224.
- CE-CCA-001-89. (1989). Acuerdo Por El Que Se Establecen Los Criterios Ecológicos De Calidad Del Agua. Diario Oficial de la Federación. México.
- Chen, W., Tan, S.K., Tay, J.H. (1996). Distribution, fractional composition and release of sediment-bound heavy metals in tropical reservoirs. *Water, Air, and Soil Pollution* 92: 273-287.

- Cifuentes L., Torres J.L.G., Frias M. (2004). Especiación de metales pesados en sedimentos. <http://www.omega.ilce.edu.mx:3000/sitesciencia/volumen1/ciencia2/12/hm/oceano2.html>
- Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. (2010). SEDIMENTOLOGIA, Química del sedimento. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. Madrid, España. <http://hercules.cedex.es/LabH/sedimentolog%C3%ADa.htm>
- Cervantes C., Moreno Sánchez R. (1999). Contaminación ambiental por metales pesados impacto en los seres vivos. AGT, Editor, S.A. México.
- CFE – Comisión Federal de Electricidad. (2008). Términos de referencia para realizar la Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional (MIA-R) y el Estudio Técnico Justificativo para Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales (ETJ) en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico (PH) Las Cruces, en el estado de Nayarit. México.
- Dekov, V.M. et al.: (1997). Chemical composition of sediments, suspended matter, river water and ground water of the Nile (Aswan-Sohag traverse). *The Science of the total environment*. 201: 195-210.
- Departamento de ciencias ambientales, (2005). Manifestación de impacto ambiental P. H. La Yesca. Informe, estudio de la calidad de agua. Universidad de Guadalajara. México.
- Echarri, L. (1998). Libro electrónico: *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*. TEMA11 Contaminación del agua. Ed. Teide. <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>
- Espinoza Saucedo G., y Gómez Godoy C. (2009). Las Presas en México: Despojo, Contaminación y Privatización del Agua. HUIZACHE, Colectivo COA. México. <http://www.huizache.org/blog/las-presas-mexico-coa>.
- Fontúrbel F., Molina C., Richard E. (2006) Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titikaka (Bolivia) y su uso como indicador del grado de contaminación. *CIENCIA ABIERTA INTERNACIONAL*. Vol. 29 [online]
- Förstner, U. (1993). Metal speciation General concepts and applications. En: *Proceedings of the Workshop on the sequential extraction of trace metals in soils and sediments*. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 51: 5-23
- Fuentes F., Massol-Dejá A., (2002). Manual de Ecología Microbiana, Capítulo Nutrientes y Gases: sílica. Universidad de Puerto Rico.
- Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. (2008). Manejo Integrado de la Cuenca del río San Pedro-Mezquital. http://www.wwf.org.mx/wwfmex/descargas/2008_FS_sn_pedro_mezquital.pdf
- Fundación MAPFREE. (1994). Manual de Contaminación Ambiental. ITSEMAP AMBIENTAL. Madrid, España.
- Garban, B., et al.: (1996). Origin, retention and release of the trace metals from sediments of the River Seine. *Water, Air and Soil Pollution* 87, 363-381.
- González A., et al. (2004) Granulometría, sedimentación, composición y contenido total de metales pesados en los sedimentos del río Cobre, de Santiago de Cuba. Facultad de Cien-

- cias Naturales, Departamento de Química, Universidad de Oriente, Empresa Geólogo-Minera de Oriente. <http://www.uo.edu.cu/ojs/index.php/cq/article/viewFile/2055/1605>
- Griet Eeckhout, S. (2006). Mercure: une solution qui nous empoisonne. Laboratorio Europeo de Radiación del Síncrotrón en Grenoble, Francia. <http://www.scienceinschool.org/2007/issue7/mercury/spanish>
- Harte J., et al. (1991). Guía de las sustancias contaminantes, El libro de los tóxicos de la A a la Z. Ed. Grijalbo.
- Hernández Guzmán, R., Ruiz Luna, A., Berlanga Robles C.A.. (2005). Instituto Nacional de Ecología. Sinaloa, México
http://www.ine.gob.mx/descargas/ord_ecol/1bienio_oemgc_res_rhernandez_et_al.pdf
- Hernández T.J.F., Ronzón S. M., López M. J. C. (2008). PROYECTO HIDROELÉCTRICO LAS CRUCES, NAYARIT. En: XX CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO. Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos, CFE. Resumen No. 33 <http://www.amh.org.mx/CongOct08/resumenes.pdf>
- Hutchinson, GE. (1957). A Treatise On Limnology, Vol. 1. Part. I. John Wiley & Sons. New York.
- INEGI (2010). Información Geográfica: Carta Hidrológica de Aguas Superficiales. Instituto Nacional de Ecología (2005).
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (2009). Enciclopedia de los Municipios de México Nayarit. Gobierno del Estado de Nayarit. <http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/nayarit/mpios/18011a.htm>
- LENNTech (2011) Water Treatment Solutions, Holanda. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos.htm>
- Luengo L. (2005). Profes.net. Biomoléculas. Huelva, España. <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~manuales>
- Marengo Mogollón, H. (2010). ENERGÍA HIDRÁULICA. CFE. http://umai.org.mx/Noticias/2010/Foro_CFE/Ponencias/19_Febrero_2010_Energia_Hidraulica_CI/100219_i_energia_hidraulica_humberto_marengo_mogollon%20.pdf
- Margalef, R. (1983). Limnología. Ed. Omega, S.A. Barcelona.
- Margalef, R. (1986). Ecología. Ed. Omega, Barcelona. España. 951 pp.
- Margalef, R. (1991). Teoría De Los Sistemas Ecológicos. Ed. Barcanova. Barcelona. 184 pp.
- Martínez Rodríguez, L.A. (2002). Estudio de contaminación del río La Laja, Jalisco 1996-1998. Tesis de grado. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Cs. Biológicas y Agropecuarias. Guadalajara, Jalisco.
- Meléndez Pizarro, C. O., Camacho Dávila A. A. (2009). Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X. Aventuras del Pensamiento. Facultad de Ciencias Químicas/Universidad Autónoma de Chihuahua. http://www.uach.mx/extension_y_difusion/synthesis/2009/08/20/espectrometria_de_flourescencia_de_rayos_X.pdf
- Ministerio de Medioambiente (2000). Guía Para La Elaboración De Estudios Del Medio Físico, Contenido Y Metodología. Ministerio del Medio Ambiente, Madrid, Centro de Publicaciones.

- MOPU (1982). Los residuos tóxicos y peligrosos. Dirección General del Medio Ambiente, Madrid, pp 398.
- Moreno Grau, Ma. D. (2003). Toxicología ambiental: Evaluación de riesgo a la salud. Mc.GrawHill. Madrid, España.
- Murray, K.S., (1996). Statistical comparisons of heavy metal concentrations in River sediments. *Environmental Geology*. 27: 54-58.
- NOM-127-SSA1-1994. (1994). Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-límites Permisibles de Calidad y Tratamiento a que debe Someterse el Agua para su Potabilización. Diario Oficial de la Federación. México. Norma Oficial Mexicana. Secretaria de Salud.
- Organización Mundial de la Salud, OMS (2000).
- Oyarzun R. & Higuera P., (2009). Minerales, Metales, Compuestos Químicos, y Seres Vivos: Una Difícil Pero Inevitable Convivencia. Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad. http://www.ucm.es/info/crismine/Geologia_Minas/Mineria_toxicidad.htm
- Puentes A. (2011) October Home Inspections. <http://www.octoberhome.com/water-esp.html>
- Prosi, F. (1981). Heavy metals in aquatic organisms. In: Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin 271-323.
- Ramírez S. H., et al., (2007). Disolución de sílice biogénica en sedimentos de lagos utilizados como bioindicadores de calidad de agua. E-Gnosis. Vol.5
- Red Escolar SEP-ILCE. (2010). Rocas Minerales. http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_rocas/silice.htm
- Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (2005). Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua subterránea para abastecimiento público. http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_04.pdf
- Rigaku. (2009-2010). Benchtop and Process Elemental Analysis. http://www.rigaku.com/edxrf/index.html?_kk=fluorescencia%20de%20rayos%20x&_kt=18bef008-ea12-42b9-8202-7abeede52e8b&gclid=CPj9_8DWqKMCFQ8ObAodXF535g%3E
- Rodríguez, M. A., et al. (2008). Caracterización química de los sedimento sumergidos, elementos clave dentro de un programa de monitoreo ambiental integral de las playas de Bahía de Matanzas. Oficina de Manejo Costero - Playa de Varadero, Cuba.
- <http://www.oceandocs.org/bitstream/1834/3642/1/141.%20CARACTERIZACI%C3%93N%20QU%C3%8DMICA%20DE%20LOS%20SEDIMENTOS....pdf>
- Rodríguez Pérez, B.: et al., (2008) Monitoreo de calidad de agua durante el llenado del embalse de El Cajón. Informe final estudio de la calidad de agua. Universidad de Guadalajara, Departamento de ciencias ambientales. México.
- Romero A.M. et al.: (2000). Metales (Cr, Pb y Zn) en sedimentos y quironómidos del río Rocha. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*. 8:37-47.

- Rosas Rodríguez, H. (2001). Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Rovira, J.V. (1993). Estudio de la contaminación por metales pesados del Río Jarama. Tesis Doctoral. Madrid, pp 360.
- SEMARNAT (2010). <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/estudios/397/castillo.html>
- Tam, N.F., Yao, M.W. (1998). Normalization and heavy metal contamination in mangrove sediments. *The Science of the Total Environment*. 216: 33-39.
- UAM – Universidad Autónoma de Madrid. (2001) Museo Virtual. <http://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/tperiodica/elementos2/ti.htm>
- Usero, J., et al., (1997). Contaminación por metales en sedimentos acuáticos. *Tecnología del agua* 166: 44-50.
- Vaithiyathan, P., et al.: (1993) Transport and distribution of heavy metal in Cauvery River. *Water, Air, and Soil Pollution*. 71: 13-28.
- Vega G. S., Reynaga O. J., (1990). Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. Noriega, Limusa. México.
- Viarengo, A. (1985). Biochemical effects of trace metals. *Marine Pollution Bulletin*. 16: 153-159.
- Wetzel, RG. (1981). *Limnología*. Editorial Omega. Barcelona. 334 pp.
- Wittmann, G. (1981). Toxic Metals. *En: Metal Pollution in the Aquatic Environment*, Chapt B. Förstner, U., and Wittman, G. (Eds). Springer-Verlag. Berlin, pp 3-70.
- Wood, J.M. (1989) Transport, bioaccumulation and toxicity of elements in microorganisms under environmental stress. In *Proc Int Conf Heavy Metals in the Environment*, Geneve. P. Vernet (ed) CEP Consultants Ltd, Edingurgh, UK 1-12

10

Anexos

10.1 Abreviaturas y símbolos

MNMC - Meta del Nivel Máximo del Contaminante.

Es el nivel de un contaminante en el agua potable por debajo del cual no se conocen o no se esperan riesgos para la salud. Los MNMC permiten contar con un margen de seguridad y no son objetivos de salud pública obligatorios.

NMC - Nivel Máximo del Contaminante.

Es el máximo nivel permitido de un contaminante en agua potable. Los NMC se establecen tan próximos a los MNMC como sea posible, usando para ello la mejor tecnología de tratamiento disponible y teniendo en cuenta también los costos. Los NMC son normas obligatorias.

TT - Técnica de Tratamiento.

Proceso obligatorio, cuya finalidad es reducir el nivel de un contaminante dado en el agua potable.

Ag -Plata

Al-Aluminio

As-Arsénico

Br-Bromo

Ba-Bario

Ca- Calcio

Cd-Cadmio

Cl-Cloro

Cr-Cromo

Cu-Cobre

Fe-Fierro

Hg-Mercurio

K-Potasio

La-Lantano

Mg-Magnesio

Mn-Manganeso

Ni-Níquel

P-Fosforo

Pb-Plomo

RX-Rayos X

S-Azufre

Sb-Antimonio

Se-Selenio

Si-Silicio

Sr-Estroncio

Ti-Titanio

U-Uranio

Zn-Zinc

10.2 Procedimiento para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA).

El Índice de Calidad del Agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por otro lado si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

El monitoreo de un cuerpo de agua para detectar su grado de contaminación, conduce a obtener una inmensa cantidad de datos de varios parámetros, incluso dimensionalmente distintos, que hace difícil detectar patrones de contaminación. Horton (1965) y Liebman (1969) son los pioneros en el intento de generar una metodología unificada para el cálculo del ICA. Pratti (1971) presenta un trabajo con trece parámetros y Dinius (1987) realiza otro similar con once parámetros.

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas; las denominadas aritméticas y las multiplicativas (Brown, 1970). A su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. Landwehr y Denninger (1976) demostraron la superioridad del cálculo a través de técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles que los aritméticos a la variación de los parámetros, por lo que reflejan con mayor precisión un cambio de calidad.

En cuanto a la ponderación, Ott (1978) indica que el asignar pesos específicos a los parámetros tiene el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración.

El intento más reciente para el diseño del ICA es el de Dinius (1987). En dicho trabajo y usando el método Delphi de encuestas (creado con el objeto de integrar efectivamente las opiniones de expertos y eliminar las desventajas colaterales de un proceso de comité), agrupó a un panel de expertos en cuestiones ambientales y diseñó, a partir de la evaluación e interacción de ellos, un ICA de tipo multiplicativo y con asignación de pesos específicos por parámetro.

Se desarrollara en este trabajo el Índice de Calidad del Agua propuesto por Martínez de Bascarán (1979) que es ampliamente utilizado debido a su diseño sencillo y a que permite incluir n número de variables en la integración, previa ponderación de su magnitud, siendo entonces aplicable a series de datos tanto numerosas como pequeñas. El índice proporciona un valor global de la calidad del agua, en función de los valores individuales de una serie de parámetros, para lo cual se realizan varias transformaciones numéricas en cada uno de los resultados a integrar. Para elaborar el ICA, se seleccionaran aquellos parámetros de calidad del agua más usuales en la evaluación de ríos y que se enumeran en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001-89). Los procesos metodológicos a aplicar son:

El primer procedimiento será la normalización de los valores individuales que conforman el índice al establecer una correspondencia de los resultados obtenidos en cada uno de los pa-

rámetros con una escala variable de 0 a 100 que se construye en función de los valores límite establecidos. Se asume como valor de 100 % al que indica condiciones naturales u óptimas en un río, y el 50 % corresponde al máximo permitido. Una valoración menor al 50 % significa que existen limitantes de importancia para su utilización. La normalización de parámetros a aplicar se muestra en las tablas 76 a 82.

TABLA 76
Normalización de aluminio, arsénico y cadmio

Parámetro	Aluminio	Arsénico	Cadmio	Valoración
Valor Analítico	0.4	0.1	0.01	0
	0.36	0.09	0.009	10
	0.32	0.08	0.008	20
	0.28	0.07	0.007	30
	0.24	0.06	0.006	40
	0.2	0.05	0.005	50
	0.16	0.04	0.004	60
	0.12	0.03	0.003	70
	0.08	0.02	0.002	80
	0.04	0.01	0.001	90
	0	0	0	100
Unidad de Medida	mg/L	mg/L	mg/L	%

TABLA 77
Normalización de Cromo hexavalente, color y conductividad

Parámetro	Cromo Hexavalente	Color	Conductividad	Valoración
Valor Analítico	1	>200	>16.000	0
	0.09	150	12.000	x10
	0.08	100	8.000	20
	0.07	75	5.000	30
	0.06	50	3.000	40
	0.05	20	2.500	50
	0.04	16	2.000	60
	0.03	12	1.500	70
	0.02	8	1.250	80
	0.1	4	1.000	90
	0	0	<750	100
Unidad de Medida	mg/L	Esc. Pt.-Co.	µmhos/cm	%

TABLA 78
Normalización de pH, dureza total y oxígeno disuelto.

Parámetro	pH	Dureza Total	Oxígeno Disuelto	Valoración
Valor Analítico	1/14	>1.500	0	0
	2/13	1.000	1	10
	3/12	800	2	20
	4/11	600	3	30
	5/10	500	3.5	40
	6/9.5	400	4	50
	6.5	300	5	60
	9	200	6	70
	8.5	100	6.5	80
	8	50	7	90
	7	<25	7.5	100
Unidad de Medida	Unidad	mg/L CaCO ₃	mg/L	%

TABLA 79
Normalización de coliformes totales y fecales y cloruros

Parámetro	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	Cloruros	Valoración
Valor Analítico	>14.000	>14.000	>1.500	0
	10.000	10.000	1.000	10
	7.000	7.000	700	20
	5.000	5.000	500	30
	4.000	4.000	300	40
	3.000	3.000	200	50
	2.000	2.000	150	60
	1.500	1.500	100	70
	1000	1000	50	80
	500	500	25	90
	<50	<50	0	100
Unidad de Medida	UFC/100 ml	UFC/100 ml	mg/L	%

TABLA 80
Normalización de temperatura, turbiedad y sólidos disueltos

<i>Parámetro</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Turbiedad</i>	<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>Valoración</i>
	>50/>-8	>100	>20.000	0
	45/-6	70	10.000	10
	40/-4	50	5.000	20
	36/-2	30	3.000	30
	32/0	20	2.000	40
Valor Analítico	30/5	10	1.500	50
	28/10	8	1.000	60
	26/12	6	750	70
	24/14	4	500	80
	22/15	2	250	90
	21 a 16	0	<100	100
Unidad de Medida	°C	UTN	mg/L	%

TABLA 81
Normalización de mercurio, hierro y manganeso

<i>Parámetro</i>	<i>Mercurio</i>	<i>Hierro</i>	<i>Manganeso</i>	<i>Valoración</i>
	0.002	0.6	0.3	0
	0.0018	0.54	0.27	10
	0.0016	0.48	0.24	20
	0.0014	0.42	0.21	30
	0.0012	0.36	0.18	40
Valor Analítico	0.001	0.3	0.15	50
	0.0008	0.24	0.12	60
	0.0006	0.18	0.09	70
	0.0004	0.12	0.06	80
	0.0002	0.6	0.03	90
	0	0	0	100
Unidad de Medida	mg/L	mg/L	mg/L	%

TABLA 82
Normalización de plomo

Parámetro	Plomo	Valoración
	0.05	0
	0.045	10
	0.04	20
	0.035	30
	0.03	40
Valor Analítico	0.025	50
	0.02	60
	0.015	70
	0.01	80
	0.05	90
	0	100
Unidad de Medida	mg/L	%

El segundo procedimiento será la asignación de un peso numérico a cada uno de los parámetros. En la tabla 83 se muestran los pesos a asignar.

TABLA 83
Peso a asignar a los parámetros

Peso asignado	Parámetro
Valor máximo de 4	Conductividad, Oxígeno Disuelto, S.A.A.M. (Detergentes), Color, Mercurio
Valor medio de 3	Turbiedad, Coliformes Totales y fecales, Arsénico, Cadmio, Cromo total, hierro, Manganeso, Plomo
Valor menor de 2	Sólidos Disueltos, Aluminio, Cromo hexavalente
Valor mínimo de 1	PH, Cloruros, Temperatura, Dureza Total

El tercer procedimiento ha sido aplicar la siguiente fórmula para el cálculo del índice de calidad del agua ICA:

$$ICA = \frac{\sum CiPi}{\sum Pi} \cdot k$$

Donde:

Ci = Valor porcentual asignado a los parámetros

Pi = Peso asignado a cada parámetro

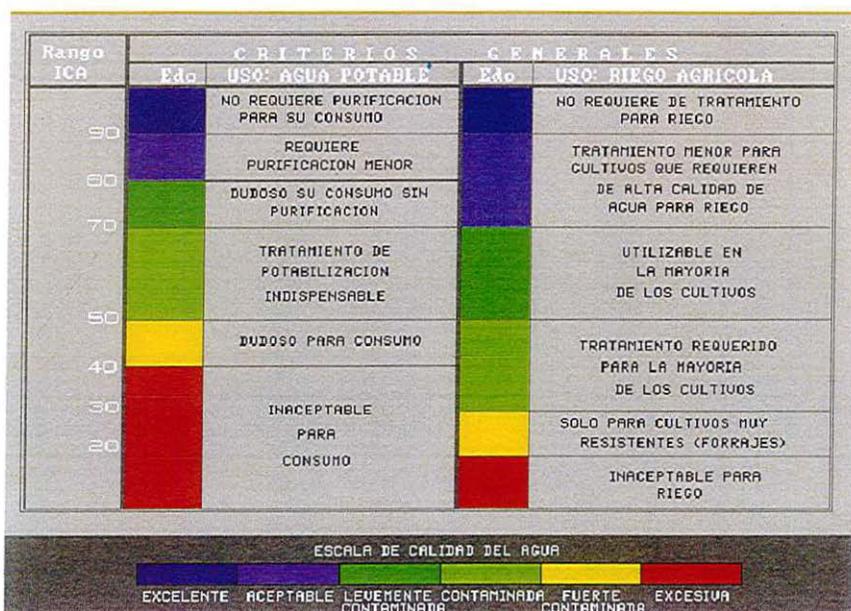
k = Constante que varía de 1 a 0,25 según la contaminación aparente del agua, definida de la siguiente forma:

- 1,00 Para aguas claras sin aparente contaminación
- 0,75 Para aguas con ligero color, con espumas y ligera turbiedad aparentemente no natural
- 0,50 Para aguas con apariencia de estar contaminadas y con fuerte olor
- 0,25 Para aguas negras que presentan fermentaciones y olores

La interpretación de los valores obtenidos del ICA se realiza de acuerdo a la figura 106.

FIGURA 106

Clasificaciones de los usos del agua en base al valor de Índice de Calidad del Agua (ICA)



Índice de tablas y figuras

Tabla 1	Químicos inorgánicos contaminantes del agua	15
Tabla 2	Químicos orgánicos contaminantes del agua	15
Tabla 3	Microorganismos contaminantes del agua	16
Tabla 4	Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua	16
Tabla 5	Principales orígenes antropogénicos de los metales pesados	22
Tabla 6	Proporciones de metales pesados en algunos pesticidas recomendados en agricultura	22
Tabla 7	Efectos a la salud humana	29
Tabla 8	Regiones Hidrológicas del Estado de Nayarit	32
Tabla 9	Puntos de muestreo	42
Tabla 10	Especificaciones técnicas de muestreo y preservación del agua.	44
Tabla 11	Parámetros evaluados en agua.	46
Tabla 12	Calculo cuantitativo de fitoplancton	49
Tabla 13	Especificaciones técnicas de muestreo de plancton.	50
Tabla 14	Parámetros evaluados del plancton	50
Tabla 15	Georeferenciación	51
Tabla 16	Datos tomados en campo, muestreo 1	52
Tabla 17	Datos tomados en campo, muestreo 2	52
Tabla 18	Datos tomados en campo, muestreo 3	53
Tabla 19	Datos meteorológicos, muestreo 1.	57
Tabla 20	Datos meteorológicos, muestreo 2.	57
Tabla 21	Datos meteorológicos, muestreo 3.	58
Tabla 22	Análisis microbiológicos, muestreo 1.	59
Tabla 23	Análisis microbiológico, muestreo 2	59
Tabla 24	Análisis microbiológico, muestreo 3	59
Tabla 25	Resultados fisicoquímicos (mg/L), muestreo 1	61
Tabla 26	Resultados fisicoquímicos (mg/L), muestreo 2	61
Tabla 27	Resultados fisicoquímicos (mg/L), muestreo 3	62
Tabla 28	Resultados de metales pesados, muestreo 1.	71
Tabla 29	Resultados de metales pesados, muestreo 2.	71
Tabla 30	Resultados de metales pesados, muestreo 3.	72

Tabla 31	Nutrientes (mg/L), muestreo 1	77
Tabla 32	Nutrientes (mg/L), muestreo 2	78
Tabla 33	Nutrientes (mg/L), muestreo 3	78
Tabla 34	Metales pesados en sedimentos (%), muestreo 1	82
Tabla 35	Metales pesados en sedimentos (%), muestreo 2	82
Tabla 36	Metales pesados en sedimentos (%), muestreo 3	83
Tabla 37	Resultados de sedimentos (mg/L), muestreo 1	84
Tabla 38	Resultados de sedimentos (mg/L), muestreo 2	85
Tabla 39	Resultados de sedimentos (mg/L), muestreo 3	86
Tabla 40	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - San Blasito	87
Tabla 41	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - cortina	88
Tabla 42	Análisis cualitativo fitoplanctónico afluente El Naranjo	89
Tabla 43	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - San Pedro Ixcatán	90
Tabla 44	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Vado de San Pedro	91
Tabla 45	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Tuxpan	93
Tabla 46	Análisis cualitativo fitoplanctónico Mexcaltitán	94
Tabla 47	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Boca del Camichín	95
Tabla 48	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - cortina	96
Tabla 49	Análisis cualitativo fitoplanctónico afluente el naranjo	98
Tabla 50	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - San Pedro Ixcatán	100
Tabla 51	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Vado de San Pedro	101
Tabla 52	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Tuxpan	103
Tabla 53	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Mexcaltitán	104
Tabla 54	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Boca de Camichin	106
Tabla 55	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - cortina	107
Tabla 56	Análisis cualitativo fitoplanctónico Afluente - El Naranjo	109
Tabla 57	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - San Pedro Ixcatán	110
Tabla 58	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Vado de San Pedro	111
Tabla 59	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Tuxpan	113
Tabla 60	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Mexcaltitán	114
Tabla 61	Análisis cualitativo fitoplanctónico San Pedro - Boca de Camichin	116
Tabla 62	Índice de Calidad de Agua	117
Tabla 63	Parámetros fuera de norma de los tres muestreos	126
Tabla 64	Limitantes de uso en la calidad de agua estudiada	128
Tabla 65	Concentraciones (%) de metales encontrados en sedimentos en la localidad Cortina	130
Tabla 66	Concentraciones (%) de metales encontrados en sedimentos del afluente El Naranjo, municipio de Ruiz	131
Tabla 67	Concentraciones (%) de metales presentes en sedimentos de San Pedro Ixcatán, municipio de Ruiz	131
Tabla 68	Concentraciones (%) de metales en sedimentos de Vado de San Pedro, municipio de Ruiz	132

Tabla 69	Concentraciones (%) de metales presentes en sedimentos de Tuxpan . . .	133
Tabla 70	Concentraciones (%) de metales presentes en sedimentos de Mexcaltitán, municipio Santiago Ixcuintlá	133
Tabla 71	Concentraciones (%) de metales presentes en sedimentos de Boca de Camichin, municipio de Santiago Ixcuintlá	134
Tabla 72	Diferencia química de cada sitio	135
Tabla 73	Límites establecidos por la EPA	136
Tabla 74	Clasificación de la calidad de agua encontrada en el estudio en forma de ICA142	
Tabla 75	Clasificación de la calidad de agua encontrada en el río Santiago en forma de ICA	142
Tabla 76	Normalización de aluminio, arsénico y cadmio	155
Tabla 77	Normalización de Cromo hexavalente, color y conductividad	155
Tabla 78	Normalización de pH, dureza total y oxígeno disuelto	156
Tabla 79	Normalización de coliformes totales y fecales y cloruros	156
Tabla 80	Normalización de temperatura, turbiedad y sólidos disueltos	157
Tabla 81	Normalización de mercurio, hierro y manganeso	157
Tabla 82	Normalización de plomo	158
Tabla 83	Peso a asignar a los parámetros	158

Figuras

Figura 1	Ciclo biogeoquímica general de los metales pesados	25
Figura 2	Regiones Hidrológicas del Estado de Nayarit	32
Figura 3	Límite geográfico de la cuenca Río San Pedro en el estado de Nayarit.	33
Figura 4	Ubicación satelital de P.H. "Las Cruces"	34
Figura 5	Diagrama de flujo	41
Figura 6	Ubicación en foto satelital de los puntos de muestreo	43
Figura 7	Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X.	48
Figura 8	pH.	54
Figura 9	Temperatura del agua	54
Figura 10	Conductividad	55
Figura 11	Salinidad	55
Figura 12	Sólidos disueltos totales	56
Figura 13	Oxígeno disuelto	56
Figura 14	Coliformes totales	60
Figura 15	Coliformes fecales	60
Figura 16	Dureza total	63
Figura 17	Cloruros	63
Figura 18	Fenoles.	64
Figura 19	Nitrógeno amoniacal.	64
Figura 20	Fluoruros	65

Figura 21	Sulfatos	65
Figura 22	Sólidos totales.	66
Figura 23	Sólidos suspendidos totales.	66
Figura 24	Sólidos disueltos totales	67
Figura 25	SAAM	67
Figura 26	Color.	68
Figura 27	Turbiedad	68
Figura 28	Clorofila	69
Figura 29	Grasas y aceites	69
Figura 30	Alcalinidad total.	70
Figura 31	Aluminio	73
Figura 32	Arsénico	73
Figura 33	Bario	74
Figura 34	Cromo	74
Figura 35	Hierro	75
Figura 36	Manganeso	75
Figura 37	Silicio	76
Figura 38	Sodio.	76
Figura 39	Zinc	77
Figura 40	Fósforo.	78
Figura 41	DQO	79
Figura 42	Ortofosfatos	79
Figura 43	Nitratos	80
Figura 44	Nitritos	80
Figura 45	Nitrógeno total	81
Figura 46	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – San Blasito.	87
Figura 47	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – San Blasito	88
Figura 48	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – cortina.	88
Figura 49	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – cortina.	89
Figura 50	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton afluente El Naranjo.	89
Figura 51	Análisis cuantitativo fitoplanctónico afluente El Naranjo	90
Figura 52	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – San Pedro Ixcatán	91
Figura 53	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Vado de San Pedro	92
Figura 54	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Vado de San Pedro.	92
Figura 55	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Tuxpan	93
Figura 56	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Tuxpan	93
Figura 57	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Mexcaltitán	94
Figura 58	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Mexcaltitán.	94
Figura 59	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Boca del Camichín	95

Figura 60	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Boca del Camichin.	96
Figura 61	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – cortina.	97
Figura 62	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – cortina.	97
Figura 63	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton afluente el naranjo	99
Figura 64	Análisis cuantitativo fitoplanctónico afluente el naranjo	99
Figura 65	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – San Pedro Ixcatan.	100
Figura 66	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – San Pedro Ixcatan	101
Figura 67	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Vado de San Pedro	102
Figura 68	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Vado de San Pedro.	102
Figura 69	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Tuxpan	103
Figura 70	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Tuxpan	104
Figura 71	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Mexcaltitán	105
Figura 72	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Mexcaltitán	105
Figura 73	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Boca de Camichin.	106
Figura 74	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Boca de Camichin	107
Figura 75	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – cortina.	108
Figura 76	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – cortina.	108
Figura 77	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Afluente - El Naranjo	109
Figura 78	Análisis cuantitativo fitoplanctónico Afluente - El Naranjo	109
Figura 79	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – San Pedro Ixcatán	110
Figura 80	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – San Pedro Ixcatán	111
Figura 81	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Vado de San Pedro.	112
Figura 82	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Vado de San Pedro.	112
Figura 83	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Tuxpan	113
Figura 84	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Tuxpan	114
Figura 85	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Mexcaltitán	115
Figura 86	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Mexcaltitán.	115
Figura 87	Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton San Pedro – Boca de Camichin.	116
Figura 88	Análisis cuantitativo fitoplanctónico San Pedro – Boca de Camichin	116
Figura 89	Índice de Calidad del Agua (ICA).	117
Figura 90	Porcentaje de parámetros fuera de norma en San Pedro - San Blasito (E1)	118
Figura 91	Porcentaje de parámetros fuera de norma en Río San Pedro – Cortina (E2)	119
Figura 92	Porcentaje de parámetros fuera de norma en afluente El Naranjo (E3)	120
Figura 93	Porcentaje de parámetros fuera de norma	

	San Pedro – San Pedro Ixcatán (E4)	121
Figura 94	Porcentaje de parámetros fuera de norma en San Pedro – Vado de San Pedro (E5)	122
Figura 95	Porcentaje de parámetros fuera de norma en San Pedro – Tuxpan (E6)	123
Figura 96	Porcentaje de parámetros fuera de norma en San Pedro – Mexcaltitán (E7)	124
Figura 97	Porcentaje de parámetros fuera de norma en San Pedro – Boca de Camichin (E8)	125
Figura 98	Criterios de clasificación de la calidad del agua	127
Figura 99	Contenido porcentual de metales en la localidad Cortina, municipio Amatlán de Cañas	130
Figura 100	Contenido porcentual de metales en afluente El Naranjo, municipio de Ruiz	131
Figura 101	Contenido porcentual de metales en San Pedro Ixcatán, municipio de Ruiz	132
Figura 102	Contenido porcentual de metales en Vado de San Pedro, municipio de Ruiz	132
Figura 103	Contenido porcentual de metales de Tuxpan	133
Figura 104	Contenido porcentual de metales de Mexcaltitán, municipio Santiago Ixcuintlá	134
Figura 105	Contenido porcentual de metales de Boca de Camichin, municipio de Santiago Ixcuintlá.	134
Figura 106	Clasificaciones de los usos del agua en base al valor de Índice de Calidad del Agua (ICA).	159