



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Dirección General de Investigación



INFORME FINAL

PROYECTO

Evaluación de la Calidad Físicoquímica y Bacteriológica del agua del Canal de Chiquimulilla y la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico

Equipo de Investigación

M.Sc. Bessie Evelyn Oliva Hernández, Coordinadora
M.Sc. Juan Francisco Pérez Sabino, Investigador
M.Sc. Karin Larissa Herrera, Investigadora
Lic. Oswaldo Efraín Martínez Rojas, Investigador
Dr. Jorge Luis de León Arana, Investigador
Br. Abner Mardoqueo Rodas Arzet, Auxiliar de Investigación
Br. Johanna Patricia Hernández Catú, Auxiliar de Investigación

Guatemala, enero - diciembre de 2007

Unidad Académica Avaladora

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

INDICE

	Contenido	Página
	Resumen	v
1	Introducción	1
2	Antecedentes	2
	El Canal de Chiquimulilla	2
	Regiones que abarca	2
	Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico	2
	Situación General y Problemas identificados	4
	Estudios previos sobre la calidad del agua	6
3	Justificación	9
4	Objetivos	10
5	Referente teórico	11
	Información sobre los parámetros químicos a evaluar	11
	Fósforo total	11
	Fósforo de ortofosfatos	12
	Nitrógeno total	12
	Nitrógeno de nitrato y nitroto	13
	Sólidos	14
	Potencial de Hidrógeno pH	14
	Oxígeno Disuelto	15
	Demanda química de oxígeno	15
6	Metodología	15
	Muestreo	15
	Toma de muestras de agua y sedimentos	16
	Análisis de Parámetros físicos en el campo	16
	Análisis de nutrientes	16
	Medición de sólidos	17
	Análisis microbiológico del agua	17
	Técnicas a utilizar en el proceso de investigación	23
	Muestreo	23
	Análisis de datos	23
	Interpretación de datos	23
	Instrumentos	23
	Potenciometría	24
	Absorción Atómica	25
	Conductimetría	25
	Gravimetría	25
7	Resultados y discusión de resultados	26
	pH	26
	Potencial redox	26

Temperatura	27
Oxígeno disuelto	28
Conductividad	30
Salinidad	31
Sólidos totales disueltos TDS	31
Profundidad	32
Visibilidad	33
Nitrógeno de nitritos	34
Nitrógeno de nitratos	35
Nitrógeno total	36
Fósforo de ortofosfatos	36
Fósforo total	37
Sulfatos	38
Sólidos sedimentables	39
Análisis microbiológicos	39
Fitoplancton	43
Georeferencia de los sitios de muestreo	45
8. Conclusiones	46
9. Recomendaciones	48
10. Bibliografía	49
11. Anexos	54

1. Índice de Cuadros

	Contenido	Página
1	pH	26
2	Potencial redox	26
3	Temperatura	27
4	Oxígeno disuelto en mg/L	28
5	Oxígeno disuelto en porcentaje	29
6	Conductividad	30
7	Salinidad	31
8	Sólidos totales disueltos TDS	31
9	Profundidad	32
10	Visibilidad	33
11	Nitrógeno de nitritos	34
12	Nitrógeno de nitratos	35
13	Nitrógeno total	36
14	Fósforo de ortofosfatos	36
15	Fósforo total	37
16	Sulfatos	38
17	Sólidos sedimentables	39
19	Análisis microbiológicos del mes de marzo	39
20	Análisis microbiológicos del mes de mayo	40

21	Análisis microbiológicos del mes de julio	41
22	Análisis microbiológicos del mes de septiembre	42
23	Análisis microbiológicos del mes de octubre	42
24	Fitoplancton	43
25	Georeferencia de los sitios de muestreo	45

2. Índice de Figuras

	Contenido	Página
1	Ninfas y helechos en el canal de Chiquimulilla	54

3. Resumen (máximo pagina y media)

En el presente estudio se evaluó la contaminación del agua en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2007. Cinco muestreos fueron efectuados en los cuales se colectaron muestras de agua para el análisis fisicoquímico de nutrientes así como contaminantes bacteriológicos, analizándose coliformes como indicadores de la contaminación y agentes patógenos para la salud humana. Se determinó que las muestras de agua colectadas en el canal presentan contaminación por *Escherichia coli* la cual produce la enfermedad Colibacilosis. También se encontró presencia de *Shigella* y *Salmonella* la cual produce Fiebre Tipoidea y Disentería respectivamente.

Los niveles de nutrientes indican que el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico se encuentran en un proceso de eutrofización, el cual puede agudizarse de no tomarse las medidas necesarias para evitar su deterioro. Se encontraron especies de fitoplancton indicadoras de eutrofización y que producen toxinas que pueden provocar daños hepáticos y gastroenteritis. También se encontró contaminación bacteriana en los pozos de agua para consumo humano, lo que si afecta directamente a la salud de los pobladores, ya que esto indica que el manto freático está contaminado.

El análisis global de la contaminación en el canal indica que el agua no es apta para el consumo humano ni para propósitos recreativos por las altas concentraciones de bacterias.

Para lograr una disminución de la contaminación en el canal se recomienda el tratamiento de las aguas residuales y educación ambiental en las principales poblaciones del canal.

1. Introducción

El canal de Chiquimulilla es uno de los principales refugios en la zona sur con un sistema de manglar con amplia riqueza por la diversidad de especies animales y vegetales que allí habitan. Tiene 2,800 hectáreas y se encuentra entre los municipios de Taxisco y Chiquimulilla del departamento de Santa Rosa.

Este es un humedal de gran importancia ya que desempeña una función como ecosistema estuarino costero-marino, lo que permite la conservación, reproducción y sobrevivencia de distintas especies, algunas de las cuales se encuentran en peligro de extinción.

Las poblaciones que se encuentran en su cauce juegan un papel importante, ya que están ejerciendo una presión sobre el ecosistema, y sus actividades deben ser orientadas a su conservación. Como se realizan actividades de agricultura, este tipo de actividades pueden enriquecer el agua por escorrentía con nutrientes (especies de nitrógeno y fósforo) que pueden ocasionar eutrofización, alterando el sistema.

Los principales asentamientos en el área del canal no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales o es deficiente, lo que ocasiona la contaminación del canal. Los problemas observados en otros estudios, indican que no ha cambiado el sistema de depuración de aguas residuales, lo cual es importante ya que se sigue observando un deterioro en la calidad del agua del canal.

El presente trabajo se realizó con el propósito de evaluar la calidad del agua y la utilización del fitoplancton como indicador, realizando muestreos que permitieran conocer el estado trófico del canal. Se pudo observar que el canal funciona como un portador de vectores de enfermedades gastrointestinales que afectan la salud humana. Que los pozos de agua para consumo humano también presentan contaminación bacteriológica como de nutrientes, lo que la hace no apta para su consumo.

2. Antecedentes

El Canal de Chiquimulilla **Descripción del cuerpo de agua**

El canal de Chiquimulilla fue construido entre los años 1886 y 1895 con el objetivo principal de facilitar el transporte de los productos de la zona. Posteriormente el canal fue tomando importancia comercial, al establecerse la industria pesquera, la creación de la infraestructura necesaria para el establecimiento de otros tipos de industrias en sus márgenes. Por otra parte, tomó importancia como centro turístico. En el transcurso de los años el canal ha llegado a brindar un refugio seguro a las embarcaciones de la zona y a la población en general que se asienta a sus alrededores. Sin embargo, a pesar de la importancia comercial y turística del canal alcanzada a través de los años, no se le ha dado el mantenimiento debido, como dragado, limpieza, etc.; además, la falta de programas de saneamiento que incluyan una disposición adecuada de los desechos sólidos y líquidos.

Regiones que abarca

El Canal de Chiquimulilla se extiende en una longitud de aproximadamente 120 kilómetros entre los municipios de la Gomera, San José, Iztapa (Departamento de Escuintla), Taxisco, Guazacapán, Chiquimulilla (Departamento de Santa Rosa) (Ver Anexo I, figura 1) y Moyuta (Departamento de Jutiapa). Se origina en el estero Sipacate al suroeste de Sipacate, extendiéndose casi paralelo y a distancia variable del litoral, hasta el caserío de Barra el Jiote al sur de la Aldea El Paraíso. Actualmente la mayor parte de su curso es navegable con embarcación de poco calado.

Lagunas y pantanos llenan los valles bajos entre la planicie y la primera loma; brechas, zanjones y ríos interconectan las lomas y los valles, y las bocabarras costeras conectan las lagunas con el mar. Las bocabarras no son estacionarias ni en ubicación, ni en dirección. Las existentes son corresponden a los ríos: Acomé, Achiguate, Zanjón Chilate, María Linda, Jiote

A excepción de la del Zanjón Chilate, todas son naturales, aunque de una u otra manera han sido alteradas por el hombre. El Río Achiguate es el único que descarga directamente al mar.

Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico

La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM) es un área protegidas de gran importancia para Guatemala y para toda la región Centroamericana, por ser un humedal de amplia riqueza por la diversidad de especies animales y vegetales. Dentro de la RNUMM habitan las comunidades de Agua Dulce, La Avellana, La Curvina, El Pumpo y Monterrico; dicha Reserva fue declarada legalmente el 16 de diciembre de 1977 según Acuerdo Gubernativo.

La Reserva tiene una extensión de 2,800 hectáreas (28 Km²) y está ubicada al sudeste de la República sobre la franja costera del Pacífico entre los municipios de Taxisco y Chiquimulilla del departamento de Santa Rosa. La RNUMM es una de las 99 áreas protegidas con que cuenta el país según el decreto 4-89 de la Ley de Áreas Protegidas; estas áreas representan el 27% del territorio de Guatemala y están bajo la responsabilidad del Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-. La Reserva es administrada por el Centro de Estudios Conservacionistas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala desde el año de 1979.

La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico se caracteriza por ser un humedal, el cual consiste en extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua. En términos generales el humedal puede ser tanto de régimen natural o artificial (siendo en este caso artificial), permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.

Es entonces un humedal, de gran importancia ya que desempeña una función vital en cuanto a la distribución abundante de agua (cerca del 65% de su superficie total) el cual, se presenta en dos formas naturales: el ecosistema estuarino denominado Canal de Chiquimulilla y el ecosistema costero-marino. Estos dos ecosistemas permiten la conservación, reproducción y sobrevivencia de distintas especies tanto animales como vegetales, algunas de las cuales se encuentran en peligro de extinción.

Debido a que las poblaciones aledañas interactúan con la reserva en el sentido de que sus recursos son parte de su economía, estas juegan un papel importante en las actividades que se orienten a la conservación. Estas poblaciones son las ya mencionadas, así como El Cebollito y las Quechas. Entre estas actividades económicas se encuentran la pesca, el uso del mangle, la agricultura y la prestación de servicios al turismo.

Situación general y problemas identificados en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico

La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, está localizada en la Zona de Vida Bosque Seco Subtropical. Esta zona de vida abarca una faja angosta de 3 a 5 kilómetros de ancho en el Litoral del Pacífico, que va desde la frontera con México hasta las cercanías de Las Lisas, en el Canal de Chiquimulilla. Se caracteriza por la presencia de bosques de manglar y bosques secos.

En la RNUMM se reportan dos estaciones: la época seca que se presenta de noviembre a abril y la lluviosa que se inicia en mayo y finaliza en octubre. El promedio anual de lluvias llega a los 1,500 milímetros, con una temperatura promedio de más de 30°C.

La Reserva está ubicada entre los 0 a los 8 metros sobre el nivel del mar. La forma del terreno puede considerarse como regular, ya que su pendiente es en su mayoría plana y no sobrepasa del 5%. Aproximadamente el 65% del área total está cubierto por la parte marítima (costero-marina) y por los cuerpos de agua que forman parte del ecosistema estuarino denominado Canal de Chiquimulilla con sus ramales y lagunas naturales que cambian su salinidad dependiendo de la acción de las mareas.

Los suelos de la Reserva están localizados dentro de las series de suelos siguientes:

Arena de Playa de Mar. Que consiste en una faja angosta de aproximadamente 300 metros de ancho de arena suelta de color oscuro. Estos suelos no son aptos para la agricultura, pero sí para la recreación.

Suelos de los Valles no diferenciados. Estos se producen de todos los materiales transportados y depositados por el agua. Su coloración varía desde negro a gris oscuro.

En la Reserva se encuentran por lo menos 5 formaciones vegetales: los manglares, el bosque seco, los tulares, los bosques en galería y la vegetación acuática. Las más abundantes son los manglares donde predomina el mangle rojo o colorado y el mangle blanco, así como los tulares.

La Vida Silvestre de la Reserva está representada por un sin número de especies. En el caso de los invertebrados (crustáceos y moluscos) los más comunes son el camarón (camarón de río y camarón blanco),

jaibas, conchas, caracoles y cangrejos. Estudios preliminares de peces reportan por lo menos 26 especies, siendo los más comunes el bagre, cuatrojos, aleta, mojarra, guapote, pululo y otros.

Entre los reptiles destacan una pequeña población del caimán, iguana verde, iguana negra o jiota, así como la presencia de las tres especies de tortugas marinas: parlama blanca, parlama negra y baule, que utilizan las playas de la Costa del Pacífico para hacer sus nidos.

En cuanto a las aves, están representadas por más de 110 especies, tanto residentes como migratorias y con ello constituyen la fauna dominante, más atractiva y diversa de la Reserva. Dentro de las más representativas pueden mencionarse: golondrinas, carpinteros, garzas, pijijes, pelícanos, pijuy, zambullidores, gavilán, aguilillas, chorlitos, pericos, patoaguja, mosquerito, fragata, etc.

Los mamíferos, que en algún tiempo fueron abundantes, hoy en cambio se encuentran bastante amenazados, por lo que solamente son comunes el tacuacín, tacuacín blanco y mapaches.

En cuanto a los aspectos socioeconómicos que predominan en la Reserva es importante considerar que está habitada por cinco comunidades: Agua Dulce, La Avellana, La Curvina, El Pumpo y Monterrico. Se estima que hay alrededor de 7,500 habitantes, siendo la aldea Monterrico donde se concentra la mayor población.

Estas comunidades se han formado por migraciones donde predomina la raza mestiza, quienes desarrollan sus actividades alrededor del núcleo familiar compuesto por un promedio de 6 miembros.

Las principales actividades económicas (productivas y extractivas) de la población de la Reserva son:

Agricultura (maíz, ajonjolí, pashte, sandía, chile)

Aprovechamiento de frutales como el coco, jocote, jocote marañón, limón, mango sorgo, soya, tamarindo, yuca.

Extracción de mangle

Cacería de especies silvestres

Pesca

Transporte y comercio

Procesamiento de sal sin yodo

Prestación de servicios turísticos a los visitantes nacionales y extranjeros (comedores, hoteles, lanchas, taxis) que manifiesta una estrecha relación con el aprovechamiento de los recursos del área.

En cuanto al recurso agua es importante señalar que ninguna de las cinco comunidades dentro de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico cuenta con un sistema de distribución de agua potable entubada y clorada. El agua proviene de pozos artesanales de donde se extrae el agua con cubetas o con bombas de extracción eléctricas y manuales.

De igual forma, todas las poblaciones carecen de un sistema de aguas servidas y éstas son vertidas simplemente al patio, y en alguna forma (directa o indirecta) llegan a los cuerpos de agua utilizados para su subsistencia. Ello aumenta el riesgo de enfermedades (especialmente paludismo, dengue y parasitarias) en los pobladores.

En las comunidades de La Curvina y La Avellana hay algunas casas con letrinas, mientras que en Agua Dulce no hay. El Pumpo y Monterrico sí cuentan con letrinas, aunque la mayoría de ellas están en malas condiciones. No existen sanitarios públicos disponibles y ellos es preocupante si se piensa en la afluencia de turismo al área. Por otro lado, no se cuenta con basureros públicos ni mucho menos un sistema de recolección de las basuras por lo que proliferan los basureros por todos lados.

En cuanto a los problemas derivados de la interacción entre la población y los recursos naturales es relevante la degradación de la parte alta de las cuencas y alteración del régimen hídrico que provoca erosión y consecuentemente cambios drásticos en el nivel y calidad de las aguas; causando inundaciones, secamientos y deposición de sedimentos. Por otra parte existe un serio problema de contaminación debido a la falta de educación. Aparte de que no existe un sistema de recolección y tratamiento de basura. El uso de agroquímicos provoca la contaminación de las agua. No existe un sistema de letrinización por lo que los desechos llegan directa e indirectamente a los cuerpos de agua. Todo esto redundando en la propagación de enfermedades (2).

Estudios previos sobre la calidad del agua y relacionados con la conservación efectuados en el canal de Chiquimulilla

El Canal de Chiquimulilla ha sido estudiado de una forma multidisciplinaria y cada investigación dentro de su campo, ha proveído información importante que puede utilizarse para la comprensión, análisis e interpretación de la información que se pretende obtener.

Los primeros estudios se efectuaron en el período de 1973 a 1976 por el Insivumeh (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología), y la sección de Investigación de Calidad de Agua del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. Este estudio se proyectó hasta el 2002, sin embargo los resultados iniciales fueron los únicos que se publicaron. El estudio se tituló: Calidad del agua en la cuenca del río María Linda y características fisicoquímicas del agua de mar. El estudio ha sido de carácter exploratorio y se ha limitado a acumular información de los siguientes parámetros: Temperatura, conductividad, turbidez, color, magnesio, calcio, dureza de calcio, dureza total, carbonatos, bicarbonatos, alcalinidad total, cloruros, fosfatos, nitritos, nitratos, sulfatos, oxígeno disuelto, dióxido de carbono, pH, concentraciones de cromo, cobre, sodio y potasio.

La información se obtuvo de sólo dos estaciones de muestreo ubicadas en los extremos del río conocidas como Las Morenas y Las Guacamayas, con muestreos en verano e invierno. No se han contrastado los datos con ningún límite máximo permisible ni se han interpretado los resultados. Los datos de la estación Las Morenas, son relevantes puesto que la estación se ubica en la desembocadura del río María Linda en el Canal de Chiquimulilla.

En 1988, la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala realizaron una investigación denominada: "Control de la calidad del agua del Canal de Chiquimulilla como un cuerpo receptor y señalamiento de las principales fuentes de contaminación". La investigación estuvo a cargo de Ing. Carlos Armando Mora Arias e Ing. Vicente González Ch. Según el estudio no es posible dictaminar cual es la fuente de emisión responsable en mayor o menor grado de las características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua del canal de Chiquimulilla. Se establecieron las especificaciones prevalecientes de la calidad del agua del canal, aunque no el grado de deterioro o contaminación del mismo, puesto que no existe una evaluación técnica previa a este estudio con el propósito de tener una comparación.

El análisis de los resultados, muestra las características físicas, químicas y bacteriológicas predominantes en las dos épocas del año, así como de la influencia que tienen el agua del mar como el de lluvia sobre las condiciones prevalecientes en el agua del canal, y que permiten concluir que se presentan condiciones semejantes a las de un estuario, debido a la gran influencia del agua de mar en la época seca, que incrementan las concentraciones de sustancias, principalmente las sales, tales como

los sulfatos, cloruros y otras; por el contrario el agua de lluvia tiene mayor influencia sobre las características presentes con lo que aumenta su poder de dilución, induciendo con esto a la disminución de la concentración de las sales, así como de otras sustancias presentes.

En 1988, el Ing. Oswaldo Juárez desarrolló el Proyecto Canal de Chiquimulilla, a través del Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras públicas. En este estudio se evaluó el color, turbiedad, pH, temperatura, sólidos totales, sólidos en suspensión, conductividad eléctrica, dureza total, carbonatos, bicarbonatos, dureza carbón, dureza no carbón, alcalinidad total, calcio, hierro, fluoruros, nitritos, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, DBO. Todos estos parámetros en 4 puntos de muestreo, ubicados entre Puerto de San José y Puerto Quetzal.

Entre las principales conclusiones se llegó a que el oxígeno disuelto, se ve afectado por los bajos niveles del agua y por las descargas de contaminantes domésticos, desechos sólidos y otros, siendo las descargas del agua de lavado de los tanques de la melaza de los ingenios azucareros, los que mayor efecto tiene en la disminución del contenido o concentración del oxígeno disuelto.

El nivel alto del agua en el Canal es producido por la influencia de las mareas, y esto aumenta los niveles de concentración de los cloruros y de los sulfatos, entre otros. Además contribuye al aumento del contenido de oxígeno disuelto.

En base a los resultados obtenidos en los análisis y exámenes del agua del Canal de Chiquimulilla, se considera que tienen mucha influencia contaminante en el agua del Canal, ya que no ha cambiado la forma en que se hacen las deposiciones del agua de origen doméstico, el agua procedente del lavado de los depósitos de almacenamiento de melaza y combustible, los desechos de las procesadoras de pescado y los desperdicios sólidos producidos en las comunidades.

Estos estudios referidos exclusivamente a la calidad del agua tienen un predecesor común. Este estudio evaluaba en 1979 la importancia nacional del uso y manejo racional para la conservación del mangle (*Rhizophora mangle*) en el Litoral del Pacífico). Este estudio realizado por el ingeniero agrónomo Jose Victor Morales Calderón, constituye la primera referencia en la cual se basan los estudios subsiguientes ya mencionados.

En dicha investigación se concluyó que el manejo silvicultural del mangle va íntimamente ligado al manejo del bosque de mangle, por

tanto deben incluirse también las técnicas para manejar adecuadamente el ecosistema completo, esto implica elaborar el estudio ecológico-forestal, basado en los componentes del medio ambiente entre el cual esta el agua.

En 2000, Morales de la Cruz efectuó el “Estudio de algunos factores que determinan la población y distribución del mangle en el área comprendida entre Puerto Viejo (Iztapa, Escuintla) y Zunzo (Taxisco, Santa Rosa)”. En esta investigación se realizó un estudio hidrológico y edáfico, se muestrearon cuerpos de agua con influencia directa sobre el manglar. El análisis de las muestras abarcó salinidad de cuerpos de agua y agua intersticial. De lo cual se concluyó que existe un gradiente de variación horizontal de la salinidad hacia adentro del canal de Chiquimulilla, lo que determina en gran medida, el intercambio de sales con el manglar. La salinidad la determinaron midiendo la conductividad.

3. Justificación

Considerando que no existen estudios recientes sobre la calidad fisicoquímica del agua del canal de Chiquimulilla, área de importancia que abarca la Reserva de Usos Múltiples de Monterrico, que los estudios efectuados sobre el agua del Canal, no están actualizados y debido a que el área constituye una zona de manejo en la cual se busca mantener un equilibrio entre la interacción población – recursos naturales; resulta de suma importancia la investigación de aquellos factores que pueden ser utilizados como índices de contaminación acuática, de manera que pueda documentarse la situación actual y señalar aquellas posibles fuentes de contaminación para que las autoridades competentes puedan gestionar las medidas adecuadas.

El estudio es necesario, puesto que es evidente que en Guatemala, en general, se está produciendo un proceso de degradación de las cuencas con la consecuente alteración del régimen hídrico. Además de un proceso continuo de contaminación debido a la falta de un tratamiento adecuado de desechos sólidos, al uso de agroquímicos, a un sistema de letrinas deficiente y a la continua expansión de la frontera agrícola.

Por otra parte, la Reserva constituye un ecosistema característico que se conoce como humedal y que constituye el medio en el cual se desenvuelve una gran diversidad de flora y fauna, por lo que el continuo monitoreo de posibles fuentes de contaminación resulta esencial y a través de este proceso de investigación se pretende iniciar con la

caracterización de dicho cuerpo de agua con lo cual se proporcionará información para futuras investigaciones.

Por su ubicación e hidrología particular, el Canal está sometido a fuertes demandas de agua, así como a vertidos directos no controlados de origen industrial, además de la actividad agropecuaria que se desarrolla en sus orillas. La ubicación de distintas poblaciones e industrias a lo largo del mismo, hace que la problemática del agua sea de un alto nivel de complejidad.

En esta situación particular, la importancia de la información, de los datos que se generen, es fundamental; debido a que el problema que generalmente se tiene para las propuestas para el manejo sostenible del agua y para una adecuada gestión de la misma, es la falta de datos base o su heterogeneidad. Es por eso que se consideran para esta investigación el análisis de parámetros fundamentales utilizados como referentes para aguas de origen natural. Por tanto el estudio a realizar llenará los vacíos existentes en cuanto a información, evaluará parámetros adecuados y suficientes para una completa caracterización, brindará información actualizada, ordenada e interpretada de acuerdo a la situación actual del Canal en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico. La información será de utilidad para la toma de decisiones por el CECON, en relación con la Reserva.

4. Objetivos

1. General:

Evaluar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua del Canal de Chiquimulilla y de la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

2. Específicos:

2.1 Determinar los niveles de pH, temperatura y oxígeno disuelto del agua del Canal de Chiquimulilla y de la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

2.2 Determinar la presencia y los niveles de nutrientes que corresponden a especies de fósforo y nitrógeno, del agua en el Canal de Chiquimulilla y de la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

2.3 Identificar las principales fuentes de contaminación fisicoquímica y bacteriológica en del agua en el Canal de Chiquimulilla y de la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

2.4 Establecer las fluctuaciones estacionales en las concentraciones de los nutrientes a lo largo de un año, en cinco muestreos bimensuales, en el agua del Canal de Chiquimulilla y de la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

2.5 Elaborar perfiles de oxígeno disuelto en los sitios de muestreo en el agua del Canal de Chiquimulilla y de la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

2.6 Establecer los parámetros de la calidad del agua en el Canal de Chiquimulilla y la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico, que sobrepasan los límites recomendados para aguas de fuentes naturales e interpretar los datos obtenidos en función de la información que se puede establecer a partir de dichos indicadores

2.7 Determinar las concentraciones de metales tóxicos en sedimentos del Canal de Chiquimulilla y en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

2.8 Proponer y determinar un índice de calidad en el agua del Canal de Chiquimulilla y de la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico, a partir de los principales parámetros que definen la calidad del agua, en los diferentes sitios de muestreo, para evaluar los sitios con mayor deterioro de la calidad del agua y establecer la línea base para el monitoreo.

2.9 Cuantificar y determinar los índices de contaminación fecal (coliformes totales y fecales) y determinar la presencia de bacterias *Escherichia coli*, *Shigella* sp. y *Salmonella* sp. y su relación con las poblaciones cercanas, en el agua del Canal de Chiquimulilla y en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

2.10 Caracterizar y determinar la composición relativa de organismos de fitoplancton presentes, y su uso como indicador de los niveles de contaminación en el agua del Canal de Chiquimulilla y de la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.

5. Referente teórico

INFORMACION SOBRE LOS PARAMETROS QUIMICOS A EVALUAR EN CUERPOS DE AGUA

Fósforo total

El fósforo total es la suma del fósforo contenido en todas las especies presentes en una muestra. La diferencia entre el fósforo total y el

fósforo de ortofosfatos constituye la reserva de fósforo que puede ser convertido a su forma más asequible para la cadena trófica, el ortofosfato, el cual se considera como uno de los principales nutrientes en el agua y por lo tanto, causante de eutrofización en cuerpos de agua cuando se encuentra en cantidades grandes. El fósforo en sus diferentes formas produce un incremento del crecimiento de las algas, ya que es un elemento esencial para crecimiento de plantas y organismos. Normalmente se encuentra en cantidades limitadas, y por ser un factor limitante para el crecimiento, es un elemento clave en la mayoría de los procesos de eutrofización. (Colegio de Ingenieros, 1995)

Fósforo de ortofosfato

El fósforo (P) es un factor limitante principal del que muchas veces dependen los organismos acuáticos. Proviene de la disgregación y lavado de las rocas que lo contienen, degradación de los organismos, aportes de origen antrópico (desechos domésticos, agroquímicos, etc.). El ortofosfato es la única forma mineral significativamente importante. Más del 90% del fósforo del agua continental está como fosfatos orgánicos y como constituyentes celulares de la materia viva particulada del seston, o asociado de diversas formas con partículas orgánicas muertas y materiales inorgánicos. En los organismos el fósforo se encuentra en forma de ésteres fosfóricos, y la liberación del fosfato luego de la muerte es rápida y uniforme ya que el enlace de éste con las moléculas orgánicas es fácilmente hidrolizable. Parte del fósforo que interviene en el ciclo orgánico queda inmovilizado en los sedimentos como fosfato de calcio o fosfato férrico (UBA, 2003).

Nitrógeno total

La importancia del nitrógeno en el agua radica en el hecho de que es un componente fundamental de las proteínas, que son las moléculas estructurales y funcionales de los seres vivos. El nitrógeno total está constituido por el nitrógeno que forma parte de los compuestos presentes en una muestra y que puede ser determinado como tal. La diferencia entre el nitrógeno total y el nitrógeno de especies inorgánicas constituye el nitrógeno orgánico, el cual representa una reserva para la conversión a formas más asequibles para la cadena trófica y por lo mismo, para los procesos de eutrofización de cuerpos de agua. El N orgánico no contemplado en amoníaco puede convertirse a amoníaco por las bacterias saprofitas, siendo entonces una fuente energética para bacterias autótrofas (nitrificantes) que lo transforman en iones nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-) las cuales requieren cantidades de oxígeno del orden de 4.5 veces más de la concentración que requiere el amoníaco, por lo que sus efectos sobre el oxígeno disuelto pueden aparecer más tarde, siendo por lo tanto su detección de interés en los pla (UBA,

2003).

Nitrógeno que forma el ión amonio y el amoníaco, existe en la naturaleza como producto de procesos metabólicos, agrícolas e industriales (OMS, 1995). La concentración en aguas naturales superficiales se encuentra generalmente por debajo de 0.2 mg/l. El amoníaco es considerado como un indicador de la contaminación del agua por bacterias, aguas residuales o desechos de origen animal. Aunque sus efectos toxicológicos se observan solamente en exposiciones mayores a 200 mg/Kg de peso corporal, su presencia puede originar la formación de nitritos y ocasionar problemas de sabor y de olor en el agua (OMS, 1995).

Nitrógeno de nitrato y nitrógeno de nitrito

Las concentraciones de nitratos en aguas naturales son normalmente de unos pocos miligramos por litro, observándose en algunos lugares incrementos debido a las prácticas agrícolas con fertilizantes nitrogenados. En cuanto al nitrógeno de nitritos, la OMS ha propuesto un valor guía para el nitrito de 3 mg/L (OMS, 1995).

Alcalinidad

La alcalinidad de las aguas se refiere a la cantidad y clase de compuestos presentes que, en conjunto, llevan el pH a valores mayores que 7. Esta se determina titulando con un ácido fuerte la cantidad total de bases, normalmente en equilibrio con el carbonato y bicarbonato. Valores bajos de alcalinidad se atribuyen en su mayor parte al calcio, mientras que en valores muy altos, el sodio forma una parte importante del exceso de cationes. La alcalinidad puede considerarse como un índice de la naturaleza y del grado de lavado de las rocas en un drenaje (composición geológica de la cuenca de estudio). Se suele expresar en partes por millón (mg/L) de CaCO_3 , aunque la expresión más clara es la de miliequivalentes por litro en donde un miliequivalente = 50 ppm de CaCO_3 . En lagos de cubierta silíceo, con aguas muy puras, es de alrededor de 0.3 meq/l, en lagos alcalinos llega a 4.5 meq/l. Las aguas con mayor reserva alcalina son las más tamponadas, mientras que las muy puras, de pequeña alcalinidad, están sometidas a oscilaciones violentas de pH. Sin embargo en aguas muy alcalinas puede producirse una intensa precipitación de Ca^{++} , que puede llegar a depositarse sobre los mismos organismos (UBA, 2003).

Cloruros

Los cloruros tienen muchas formas de acceso a las aguas naturales. El poder solvente del agua disuelve los cloruros de la capa superficial del suelo y de las formaciones más profundas. Las aguas de los mares y los

océanos invaden los ríos que desembocan en ellos, especialmente los ríos de mayor profundidad. El agua salada, por ser más densa, fluye río arriba por debajo del agua dulce, que fluye río abajo. Existe una constante mezcla del agua salada con el agua dulce de la superficie. Los cloruros a concentraciones moderadas no ofrecen peligros para los humanos, pero a concentraciones mayores de 250 mg/L dan un sabor salado al agua.

Sólidos sedimentables

Es el material que se deposita a partir de una muestra de agua, en un período definido. Su medición se realiza en conos de Imhoff, permitiendo que el material se deposite por una hora (APHA, 1992). En ríos, proporcionan información sobre la carga de sedimentos transportadas por el mismo.

Sólidos totales

Los sólidos totales son el residuo luego de la evaporación de una muestra de agua y su posterior secado en un horno a una temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales que son los sólidos totales retenidos por un filtro, y los sólidos disueltos totales que es la porción que pasa por dicho filtro (APHA, 1992).

Sólidos disueltos y en suspensión

Las partículas sólidas pueden presentarse de dos formas: disueltas o en suspensión. La cantidad de sólidos en el agua afecta la transparencia de la misma, lo que a su vez incide de manera directa sobre la productividad primaria. En general los ríos suelen presentar elevadas concentraciones de sólidos suspendidos (hasta varios gramos por litro). Las partículas más pequeñas (coloidales) son muy importantes para el metabolismo del cuerpo de agua ya que en ellas se adsorben nutrientes (UBA, 2003).

Los sólidos disueltos pasan a través de un filtro con un tamaño de poro de 2.0 micrómetros o menor, bajo condiciones especificadas. Proporcionan información sobre la cantidad de sales y otros compuestos solubles (APHA, 1992).

Potencial de hidrógeno (pH)

El pH está relacionado con la acidez o alcalinidad de un vertido. Puede usarse como controlador de acidez o alcalinidad excesiva. Describe la concentración del ion H^+ , representado por el logaritmo de su inversa (Colegio de Ingenieros, 1995).

Útil para determinar la acción corrosiva sobre estructuras de abastecimiento, distribución, que resultan en adiciones de elementos metálicos al agua potable (hierro, cadmio, plomo, cinc) tendiendo además a disolver metales (a bajo pH el agua sabe ácida). Valores extremos de pH o cambios súbitos pueden provocar situaciones limitantes o acabar con la vida de organismos acuáticos. (Colegio de Ingenieros, 1995) Extremos en el pH pueden ocasionar la muerte rápida de los peces, alteraciones drásticas en la flora y la fauna, y reacciones peligrosas secundarias, (p.e. cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados, etc.). El pH debe mantenerse dentro de un rango "normal" para la vida biológica, entre 6.5-8.0. (Reglamento de requisitos mínimos, 1989)

Oxígeno disuelto (OD)

Cualidad del agua, que en concentraciones apropiadas, es esencial, no sólo para mantener los organismos vivos, sino también para mantener los niveles de reproducción de especies, su vigor y desarrollo. La reducción de OD, afecta a la población de peces a través de retrasos en la suelta de huevos, embriones reducidos en tamaño y vigor, deformaciones en jóvenes, interferencias con digestión, aceleración de coagulación en la sangre, disminución de tolerancia a tóxicos, utilización de alimentos, crecimiento y velocidad. Otros organismos están afectados igualmente; su eliminación total conduce a la muerte.

Se considera que 5 ppm es un valor deseable para un medio adecuado, requiriéndose OD más elevado para cientos de receptores. (Colegio de Ingenieros, 1995)

Demanda química de oxígeno (DQO)

La determinación del oxígeno consumido es una medida del material oxidable y constituye una aproximación a la cantidad de materia orgánica y/o reductora presente. El método más usado es el del dicromato de potasio.

6. Metodología

Metodología

Los métodos analíticos a utilizar en el Proyecto, son los recomendados por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) y por la Asociación de Salud Pública Americana y Asociación de trabajos del Agua de los Estados Unidos (APHA, AWWA, 1992)

Muestreo

Las muestras se colectarán en dieciséis sitios de muestreo ubicados en las principales comunidades a lo largo del Canal de Chiquimulilla, en la región de influencia de la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico, además de las bocabarras de los ríos Acomé, Achiguate, Zanjón Chilate, María Linda, Jiote. Se realizarán cinco muestreos bimensuales de agua y dos de sedimentos, durante el desarrollo del proyecto.

Toma de muestras de agua y sedimentos:

Se realizará de acuerdo a los procedimientos estándar de EPA y APHA-AWWA. Las muestras de agua serán colectadas en botellas plásticas. Las botellas serán previamente tratadas con ácidos para eliminar cualquier contaminación de las muestras y serán transportadas al laboratorio en hieleras para mantener una temperatura de aproximadamente 4°C.

Las muestras de agua de profundidad serán extraídas con una botella Van Dorn, y serán almacenadas en botellas de plástico las cuales serán debidamente etiquetadas, y serán transportadas al laboratorio en hieleras a 4°C.

Se colectarán muestras de 1 y 2 litros dependiendo del análisis para el cual se destine cada una.

Los sedimentos son muestreados con una draga Eckmann y almacenados en recipientes de polietileno, en refrigeración, para su transporte y posterior preparación.

Análisis de Parámetros Físicos en el Campo

Utilizando medidores portátiles, se medirán los parámetros pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura en cada sitio de muestreo. Se medirá la transparencia utilizando un disco de Secchi y la profundidad. Todos los sitios se registrarán por medio de un sistema de posicionamiento geográfico.

Análisis de nutrientes (especies de nitrógeno y fósforo)

Se analizarán los niveles de nitrógeno total, nitrógeno de amonio, de nitratos y de nitritos, y de fósforo total y de o-fosfatos, silicatos, según metodología de la APHA y AWWA (1992). Los compuestos de interés reaccionan con reactivos específicos para formar compuestos con coloración, que son analizados por Espectrofotometría visible. Debido al tiempo que transcurrirá entre la toma de las muestras y su análisis de laboratorio, las muestras serán preservadas siguiendo procedimientos de APHA y AWWA (1992). Se medirá alcalinidad, cloruros y sulfatos.

Análisis de iones

Se analizará alcalinidad (OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-}), cloruros, sodio, calcio, magnesio, flúor, para determinar la composición iónica del agua.

Análisis de metales:

Se analizarán los metales tóxicos plomo, cadmio, cromo, mercurio, zinc, cobre y níquel, así como sodio, calcio, manganeso y hierro serán determinados por espectrofotometría de absorción atómica en muestras de sedimentos. Para el análisis de metales en forma disponible se realiza una digestión suave de 0.2 g de sedimento con ácido clorhídrico. Para el análisis de metales en forma total, se realiza una digestión total de 0.2 g de sedimento con agua regia (HCl-HNO_3), en bomba de teflón y con calentamiento (Rezende, 1993).

Medición de sólidos:

Se medirán los sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos sedimentables y sólidos en suspensión en las muestras de agua de ríos y lagunas. Los procedimientos a utilizar son los recomendados por la APHA y AWWA en el Standard Methods (1992).

Análisis microbiológicos de agua

Toma de muestra para análisis microbiológicos de agua

Recipientes

Los recipientes para la colecta de la muestra de agua deben ser herméticos y estar perfectamente limpios, enjuagados con agua destilada y estériles. Para esterilizar los recipientes pueden colocarse en agua hirviendo por 10-15 minutos. Pueden utilizarse las bolsas pre-esterilizadas especiales.

Recomendaciones para el muestreo

El recipiente que se utilizará para el muestreo debe permanecer cerrado hasta el momento de tomar la muestra.

Se debe dejar siempre un espacio de aire para facilitar la agitación de la muestra (OMS, 1988).

Agua de ríos, lagos o reservorios

Se elige y localiza el lugar de donde se desea la muestra, si es necesario se utiliza un bote o lancha.

Se abre el recipiente de donde se desea tomar la muestra y rápidamente se introduce en el agua contra la corriente. En caso de no haber corriente se mueve horizontalmente.

Al terminar se cierra el recipiente rápidamente y se rotula como se indicó anteriormente.

Volumen de muestra

El volumen de la muestra por análisis no debe ser menor de 100 ml, si se desea un análisis completo el volumen debe ser de por lo menos 500 ml.

Transporte y recepción de muestras

Si las muestras no se van a procesar inmediatamente es muy importante que después de 1 hora de colectadas se transporten en condiciones de refrigeración a menos de 10 °C.

Un tiempo de 6 horas entre la toma de la muestra y el análisis es aceptable; si esto no es posible el tiempo máximo es de 24 horas.

Todas las muestras deben estar bien rotuladas al momento de llegar al laboratorio (de preferencia debe utilizarse un marcador indeleble para evitar que la información se borre durante el transporte).

Análisis microbiológicos en el laboratorio

Materiales y reactivos

- Tubos de vidrio con tapón de rosca
- Cajas de Petri
- Caldo LMX
- Pipetas automáticas para 1 mL, 0.1mL
- Pipetas serológicas para 10 mL
- Pipetor
- Tips estériles

Procedimiento

Se analizarán coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*: Método del Numero Más Probable o Tubos Múltiples modificación con LMX (15 tubos). Las pruebas se incuban a 37°C por 24 hrs. Los resultados se leen por un cambio de color, reacción Indol positiva o negativa y presencia o ausencia de fluorescencia. Se leen en una tabla de número más probable para juegos de 15 tubos.

Fitoplancton

La presencia de ciertas especies de algas o asociaciones algales en un ambiente específico, las constituye en indicadores biológicos de las condiciones ambientales existentes y en cierto momento su distribución y/o crecimiento desordenado puede reflejar cambio o situaciones positivas o negativas que se están dando en el ecosistema (Herrera K, 1999). A partir del tipo de organismos fitoplanctónicos presentes en un ambiente particular, así como de su abundancia y densidad, pueden hallarse una serie de índices que permiten determinar el estado trófico y la calidad del agua (Ramírez, JJ, 2000).

Muestreo y recuento

La unidad de muestreo será una botella muestreadora o una red dependiendo del ecosistema y las condiciones del punto elegido para el muestreo (Ramírez JJ, 2000).

Debe efectuarse la localización de los sitios de muestreo, la naturaleza física del agua influye en gran medida en la selección del sitio de muestreo. Al escoger las estaciones de muestreo es importante tener en cuenta las áreas en las que se ha colectado anteriormente, ya que esto permitirá hacer comparaciones. Las estaciones de muestreo deben ser localizadas en un mapa.

El volumen de la muestra que se tome depende del número y tipo de análisis que se vaya a efectuar, en aguas poco productivas si se utiliza una botella de muestreo se pueden llegar a requerir hasta 6 L de agua y en las que son muy productivas se requieren de 1 a 2 L. Las muestras se preservan con lugol y/o formalina. Posteriormente se procede a la identificación de los especímenes encontrados y al recuento de los mismos en la muestra. Para el efecto se utilizará una cámara de Sedgwick-Rafter.

Parásitos

Metodología de análisis (Gerba, 2000; CEPIS-OMS, 1999)

Toma de muestra

Se tomarán muestras simples de forma manual en recipientes o colectores con capacidad de cinco litros (5 Lts.). Los puntos de muestreo serán seleccionados posterior a una visita de reconocimiento.

A cada muestra colectada se le debe tomar datos fisicoquímicos in situ. Las muestras serán preservadas y transportadas al laboratorio para su análisis, en refrigeración.

Análisis microbiológico

Recuento de coliformes totales y fecales

Se utilizará la Técnica de Filtración por Membrana para el Grupo coliformes.

- * Se filtran 100mL de la muestra, a través de un sistema de filtración al vacío.
- * La membrana de filtración se coloca sobre agar Chromocult en una caja de petri
- * La caja de petri es incubada por 24 horas a 37°C
- * Se leen y anotan los resultados según la técnica correspondiente

Determinación y cuantificación de parásitos en agua

A. Procedimiento de sedimentación

La sedimentación de los huevos de parásitos es una propiedad que se aprovecha al dejar reposar una muestra de agua por varias horas.

1. En el laboratorio, se agita la muestra con el fin de homogenizarla, se mide con una probeta 1 Litro de volumen y se deja sedimentar en Cono Imhoff durante la noche.
2. En la mañana se remueve cuidadosamente el sobrenadante, el cual es descartado adecuadamente. Se debe tener mucha precaución para agitar o mover el sedimento formado.
3. El sedimento (100-200mL) se resuspende por agitación y con un lavado del recipiente con 25-50mL de agua desmineralizada. El sedimento se centrifuga a 2,500 r.p.m. por 15 minutos.

Procedimiento de clarificación

1. El sobrenadante se aspira por medio de vacío y se descarta. Se agrega una solución buffer de Aceto-Acético con pH 4 en proporción de 1:1 al volumen del sedimento.
2. Se le agrega acetato de etilo y se mezcla con cuidado por 10 minutos. La mezcla se centrifuga a 2,500 r.p.m. por 6 minutos.
3. El sobrenadante se descarta y el sedimento se resuspende con 5mL o 5X el volumen del sedimento, con una solución saturada de sulfato de zinc (solución al 33%, gravedad específica 1.8). Se mide el volumen (V) del producto.
4. Una porción (P) del producto se transfiere a una cámara de conteo microscópico con una pipeta Pasteur. Se cuentan los huevos a un aumento de 100X,
5. El número total de huevos (N) recuperados de la muestra se determina con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{X * V}{P * (1.0)}$$

X = número de huevos

P = volumen del sedimento observado

V = volumen total del sedimento

1.0 = volumen de muestra (litro)

Para poder evaluar la concentración de helmintos relativa al objetivo de <1 huevo/Ltr., la sensibilidad del método puede mejorar si

se incrementa el volumen de la muestra a >2 Ltr. O incrementando la porción (P) que se observa al microscopio.

B. Flotación por centrifugación descrita por Ockert y Teichman (1986)

1. En el laboratorio, se agita la muestra para homogenizarla, se toma un volumen de 1 Litro y se deja sedimentar en Cono Imhoff durante la noche.
2. En la mañana se remueve cuidadosamente el sobrenadante, el cual es descartado adecuadamente. Se debe tener mucha precaución para agitar o mover el sedimento formado.
3. Se transfiere el sedimento a tubos de centrifugación de aproximadamente 20mL. A cada tubo se le pone un máximo de 3mL. El recipiente de sedimentación se enjuaga con un poco de agua desmineralizada y el enjuague se pone también en los tubos con sedimento.
4. Estos se centrifugan a 1,000 r.p.m. durante 10 minutos. Los sobrenadantes se aspira y se descarta adecuadamente.
5. Se le añaden a cada tubo con sedimento 3 mL de una solución de NaNO_3 , nitrito de sodio, (500g/Litro, gravedad específica de 1.3).
6. Se centrifugan los tubos con NaNO_3 a 2,500 r.p.m. por 3 minutos.
7. El sobrenadante, que contiene los huevos de parásitos, es aspirado y se transfiere a un recipiente de 1,500mL de forma cónica con un litro de agua pura (de preferencia estéril).
8. Se le agregan 3mL de NaNO_3 a cada tubo y estos se centrifugan a 2,500 r.p.m. por 3 minutos. El sobrenadante se transfiere al recipiente cónico conteniendo el agua pura.
9. Se repite una vez más la flotación con 3mL de nitrato de sodio, para un total de tres veces.
10. En el recipiente cónico, se dejan sedimentar los huevos por varias horas o durante la noche.
11. El sobrenadante del recipiente cónico se remueve cuidadosamente y se descarta. El sedimento y un lavado de volumen pequeño de agua desmineralizada, se transfieren a tubos de centrifugación. Los tubos se centrifugan a 2,500 r.p.m. por 4 minutos.
12. Se transfiere 1mL del sedimento cuidadosamente con una pipeta Pasteur a una cámara de recuento y se examina al microscopio a un aumento de 100X.

Colifagos

En medios de cultivo adecuados, esta propiedad de iniciar la formación de lisis se evidencia por placas o halos de lisis bacteriano en dichos medios, siendo un método simple y rápido para determinar el número

de partículas infecciosas presentes en una muestra. Este método se conoce con el nombre de "agar en capas".

Enterococos

Uno de los métodos propuestos para identificar la ausencia o presencia de este grupo es el de filtración por membrana utilizando el agar para Enterococos. Se verifica la presencia de estos con pruebas bioquímicas y serológicas.

Taller de Capacitación y Divulgación

Se organizará un taller de capacitación en conjunto con personal del Biotopo Chocón Machacas, para capacitar al personal y pobladores locales sobre técnicas de muestreo de agua, medidas para reducción del a contaminación, informar sobre los resultados del proyecto y generar discusión para la propuesta de soluciones a los problemas locales relacionados con la calidad del agua.

Diseño del Estudio. Evaluación de Resultados:

Se construirán índices de calidad de agua que permitirá medir la tendencia de la calidad de los cuerpos de agua estudiados a través del tiempo.

.Debido a la naturaleza descriptiva de la investigación a realizar, se utilizará como parámetro descriptivo: el rango dentro del cual se encuentre las mediciones por triplicado de cada indicador de la calidad del agua por muestreo; como medida de tendencia central se utilizará la media de cada indicador por muestreo; y como medida de desviación para cada indicador en cada muestreo la desviación estándar. Los resultados obtenidos se representaran en tablas cada una con sus respectivos descriptores estadísticos mencionados anteriormente y se graficarán para un mejor entendimiento de los resultados.

Índices de calidad de agua

Se utilizará el índice de calidad de agua, para aguas superficiales naturales, desarrollado por la fundación de Sanidad Nacional de Panamá en 1970, en la cual se considera la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum_{i=1}^n S_i I_i$$

donde:

ICA = Índice de calidad del agua

n = número de variables

I = Subíndices

W = pesos de importancia asignados a las variables

Para lo cual se toman en consideración los siguientes parámetros:

Parámetro	Peso de importancia
DBO ₅	0.10
Coliformes fecales	0.15
%Saturación oxígeno disuelto	0.17
Fosfato	0.10
Nitrato	0.10
Desviación de temperatura	0.10
Turbidez	0.08
pH	0.12
Sólidos totales (TS)	0.08

Cada parámetro se encontrará dentro de un rango de calidad, correspondiendo a la siguiente descripción, la cual dependerá del nivel del parámetro en el agua:

Calidad	Rango
Excelente	91-100
Buena	71-90
Media	51-70
Mala	26-50
Muy mala	0-25

H. Técnicas a utilizar en el proceso de la investigación:

Muestreo

Se realizarán cinco muestreos bimensuales durante el desarrollo del proyecto, en sitios ubicados en poblaciones del área de estudio, en la Reserva de Monterrico y en los principales ríos que llegan al Canal de Chiquimulilla.

Análisis de datos

Los análisis se realizarán por triplicado, utilizándose estadística descriptiva de tendencia central. Se establecerán índices de calidad para el agua del canal de Chiquimulilla.

Interpretación de los datos

Los datos serán interpretados de acuerdo a partir de la media estadística y desviación estándar, además del uso de gráficas para la visualización de las tendencias en los niveles de los parámetros de calidad del agua a evaluar.

Instrumentos

Potenciometría

Mide el potencial de un sistema electroquímico en equilibrio para determinar la concentración de algunas sustancias. Este es el método utilizado para medir el pH, que es la concentración de iones hidronio en las muestras de agua (Rubinson, 2000).

Potenciometría selectiva de iones

La aplicación más conocida de las potenciometrías directas es la utilización de lo que se conoce con el nombre de Electroodos Selectivos de Iones (ISE). Podemos decir que un electrodo selectivo de iones, consiste en una membrana que responde más o menos selectivamente a un ion determinado, y que está en contacto, por una parte, con la disolución del ion a determinar, y por otra, generalmente, con una disolución del mismo ion a una actividad fija, la cual está a su vez en contacto con un electrodo de referencia apropiado.

La modificación del transporte de materia debido a la presencia de la membrana puede dar lugar a diferencias de potencial electrostático, estos potenciales de membrana son función de la composición de las disoluciones y pueden por tanto relacionarse con las actividades de los iones de las mismas.

Una de las principales ventajas de este tipo de electrodos es que pueden construirse, en principio, para cualquier especie iónica, aunque las dificultades de la obtención de un electrodo específico provienen de las técnicas que se necesiten para su preparación. Constituyen una herramienta importante para la determinación de iones, debido a la capacidad que tienen para obtener selectiva y de forma continua la actividad de un ion en disolución.

Los electrodos selectivos de iones, se pueden clasificar de acuerdo con el estado físico de la sustancia (compuesto electroactivo) que forma la membrana del electrodo, en:

- a) Electrodo selectivo de iones de membrana sólida.
- b) De membrana homogénea, monocristal de una sustancia muy insoluble como el LaF_3 (electrodo selectivo de ion F^-) o de vidrio (utilizado en la medida de pH).
- c) De membrana heterogénea o de membrana precipitada, la muestra en este caso se forma cuando una sustancia activa o mezcla de sustancias, se incorporan a un material inerte.
- d) Electrodos selectivos de iones de membrana líquida, en estos electrodos, un soporte inerte saturado con una especie iónica, o no cargada, separa una fase acuosa de otra no acuosa.
- e) Electrodos selectivos de iones especiales
- f) Para gases
- g) Enzimáticos

En general, podemos decir que los electrodos de membrana tienen en común:

- a) Se basan en el establecimiento de una diferencia de potencial entre las dos caras de la membrana que separa dos disoluciones de concentración diferente de la especie a determinar. Una de estas disoluciones es de concentración conocida, determinándose la de la otra por diferencia de potencial.
- b) La diferencia de potencial establecida tiene como principal componente el cambio de energía libre asociada a la transferencia de masa a través de la membrana. Son fundamentalmente distintas a los electrodos que implican transferencia electrónica.
- c) Todos ellos cumplen la Ley de Nernst.

Absorción atómica

Esta técnica es de utilidad para el análisis de metales, hierro, manganeso, plomo, cadmio, mercurio, cobre y zinc. Es una técnica de determinación unielemental. Con ella es posible obtener precisiones superiores a $\pm 1\%$ (Rubinson, 2000).

Conductimetría

Esta técnica es útil para medir la conductividad de las disoluciones, la cual depende del tipo de electrolitos presentes y de sus concentraciones. La conducción de la corriente eléctrica a través de la disolución se realiza por medio del movimiento de los iones en la disolución (Rubinson, 2000).

Gravimetría

Servirá para la medición de sólidos totales disueltos en las muestras de lluvia y deposición ácida. Se utilizaron los procedimientos APHA-AWWA (1992).

7. Resultados y discusión de resultados

Cuadro 1. Resultado de las lecturas de pH, en unidades de pH, medidas en sitio durante 2007, en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Octubre '07	Promedio
1	Candelaria	6.96	7.07	7.10	6.86	7.00
2	Monterrico Embarcadero	7.46	7.36	7.33	6.79	7.24
3	Hawaii	7.84	7.34	7.29	7.03	7.38
4	El Papaturro	7.94	7.45	7.45	NM	7.61
5	El Dragado	7.90	7.67	7.28	7.14	7.50
6	Agua Dulce	7.82	7.72	7.30	6.83	7.42
7	La Avellana	8.03	7.46	7.25	6.94	7.42
8	San Pedro	7.73	7.74	7.35	6.83	7.41
9	El Repecho	7.81	7.36	7.38	6.88	7.36
10	Pozo Monterrico, Estación CECON	7.60	7.64	7.41	7.40	7.51
11	El Pumpo	7.83	8.06	7.24	6.89	7.51
12	Iztapa, muella a Monterrico	7.70	7.65	7.10	7.12	7.39
13	El Cebollito	NM	7.24	7.17	7.12	7.18
	Promedio	7.72	7.52	7.28	6.99	

NM: No medido

Las lecturas de pH en los sitios de muestreo corresponden a valores normales para aguas naturales, las cuales varían entre 6.0 y 9.0 (Roldán, 1992). Los valores encontrados también indican que corresponden a ecosistemas de baja alcalinidad como bicarbonatos y posiblemente baja productividad (Roldán, 1992). El muestreo de octubre es el que presenta el valor más bajo de los realizados. Esto se debe probablemente a la influencia del agua de lluvia, la cual aumentó durante este mes (valor de pH de 5.5 por efecto del CO₂ disuelto en el agua), que al mezclarse con el agua del canal produjo un valor menor.

Los valores más altos de pH se pueden observar durante los meses de marzo y mayo para los sitios de La Avellana y El Pumpo respectivamente, con valores de 8.03 y 8.06. Se puede observar también que los valores promedio de pH de los muestreos realizados van disminuyendo, lo que indica que si existe una influencia entre la época seca y la época lluviosa.

Cuadro 2. Mediciones de potencial redox, en milivoltios –mV-.

Número	Nombre	marzo '07	Mayo	Julio	Octubre	Promedio
--------	--------	-----------	------	-------	---------	----------

			'07	'07	'07	
1	<i>Candelaria</i>	2.10	-5.80	-5.60	-12.30	-5.40
2	<i>Monterrico Embarcadero</i>	-28.00	-22.60	-19.30	-8.20	-19.53
3	<i>Hawaii</i>	-60.20	-21.10	-17.20	-22.00	-30.13
4	<i>El Papaturro</i>	-66.90	-27.60	-27.80	NM	-40.77
5	<i>El Dragado</i>	-64.40	-39.90	-16.70	-28.50	-37.38
6	<i>Agua Dulce</i>	-60.00	-42.70	-17.70	-10.20	-32.65
7	<i>La Avellana</i>	-71.80	-28.20	-15.30	-17.00	-33.08
8	<i>San Pedro</i>	-54.50	-55.50	-21.10	-10.60	-35.43
9	<i>El Repecho</i>	-59.40	-22.40	-23.10	-13.60	-29.63
10	<i>Pozo Monterrico, Estación CECON</i>	-46.80	-38.20	-24.80	-43.80	-38.40
11	<i>El Pumpo</i>	-60.40	-62.00	-15.80	-14.10	-38.08
12	<i>Iztapa</i>	-52.50	-41.50	-6.00	-27.40	-31.85
13	<i>El Cebollito</i>	NM	-15.40	-10.30	-27.60	-17.77
	Promedio	-51.90	-32.53	-16.98	-19.61	

NM: No medido.

Las mediciones de potencial redox en los sitios de muestreo presentan bajo potencial redox (valores negativos). Esto indica que el agua contiene compuestos en estado reducido, bajas concentraciones de oxígeno y altas concentraciones de sulfuros, amoníaco y materia orgánica no mineralizable (Marín, 2003). También es indicativo de condiciones reductoras, y de aguas contaminadas con aguas residuales y/o con alto contenido salino (Marín, 2003).

Cuadro 3. Temperatura, en grados Celsius, medida en los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	<i>Candelaria</i>	28.80	32.70	31.00	28.40	28.00	29.78
2	<i>Monterrico Embarcadero</i>	31.20	33.00	32.10	29.60	30.60	31.30
3	<i>Hawaii</i>	31.00	31.10	31.00	NM	29.10	30.55
4	<i>El Papaturro</i>	33.20	32.80	31.70	NM	NM	32.57
5	<i>El Dragado</i>	33.20	32.90	32.80	29.10	28.30	31.26
6	<i>Agua Dulce</i>	33.90	32.00	33.00	29.40	29.50	31.56
7	<i>La Avellana</i>	32.70	33.00	32.80	30.20	30.70	31.88
8	<i>San Pedro</i>	32.40	32.10	33.20	29.00	28.70	31.08
9	<i>El Repecho</i>	32.10	35.20	32.20	29.20	29.70	31.68
10	<i>Pozo Monterrico, Estación CECON</i>	29.30	29.80	32.10	29.30	30.30	30.16
11	<i>El Pumpo</i>	31.10	32.90	32.40	29.00	28.70	30.82
12	<i>Iztapa</i>	30.20	31.20	30.20	NM	29.30	30.23
13	<i>El Cebollito</i>	NM	31.00	31.20	NM	30.40	30.87
	Promedio	31.59	32.28	31.98	29.24	29.44	

NM: No medido

Las lecturas de temperatura medidas durante el 2007 indican que el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico pertenecen a un Piso Cálido o Tropical, el cual se extiende desde los 0 hasta los 1000 msnm con una temperatura superior a los 24.0°C (Holdridge, 1978 en Roldán, 1992). Se puede observar que no existe una diferencia significativa en los cambios de temperatura durante todo el año. Los valores promedio durante los muestreos van de 29.44 para el mes de septiembre a 32.28 en el mes de mayo.

El valor mínimo medido es de 28.00 grados Celsius durante el mes de marzo en el río Candelaria y el valor máximo ocurrió durante el mes de mayo en El Repecho con 35.20 grados Celsius. Los valores de temperatura en el canal se deben a que el mismo no tiene mucha profundidad (entre 0.35 y 3 metros), por lo que la cantidad de radiación que recibe el espejo de agua disipa la luz y se acumula en forma de calor, que también favorecen extensas zonas invadidas por densas comunidades de macrófitas (Roldán, 1992), lo que se pudo observar durante todo el año en el canal, ver fotografía 1 en anexos.

Cuadro 4. Lecturas de oxígeno disuelto, en mg/L, en los sitios de muestreo ubicados en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	<i>Candelaria</i>	2.23	0.08	0.48	5.77	NM	2.14
2	<i>Monterrico Embarcadero</i>	5.20	7.74	3.31	9.24	NM	6.37
3	<i>Hawaii</i>	8.30	3.75	0.80	NM	6.48	4.83
4	<i>El Papaturro</i>	9.74	4.76	3.21	NM	NM	5.90
5	<i>El Dragado</i>	8.13	6.88	3.38	4.52	NM	4.58
6	<i>Agua Dulce</i>	3.08	8.01	3.56	5.62	NM	5.07
7	<i>La Avellana</i>	11.67	6.75	3.97	6.67	NM	7.27
8	<i>San Pedro</i>	9.17	8.32	7.66	6.32	NM	7.87
9	<i>El Repecho</i>	7.13	11.13	0.94	5.45	NM	6.16
10	<i>Pozo Monterrico, Estación CECON</i>	1.18	1.46	1.01	7.52	3.43	2.92
11	<i>El Pumpo</i>	5.38	7.65	3.07	4.22	NM	5.08
12	<i>Iztapa</i>	5.83	6.29	5.50	NM	2.08	4.93
13	<i>El Cebollito</i>	NM	3.11	0.93	NM	3.03	2.36
	Promedio	6.42	5.84	2.91	6.15	3.00	

NM: No medido.

Los valores de oxígeno disuelto en las mediciones realizadas presentan rangos desde 0.08 hasta 11.67 mg/L. Las aguas corrientes superficiales no contaminadas suelen estar bien oxigenadas con concentraciones de

oxígeno entre 7 y 8 mg/L de O₂, o incluso y sobresaturadas (Marín, 2003). Por los valores obtenidos en las mediciones realizadas se infiere que durante los meses julio y octubre con promedios de 2.91 y 3.00 mg/L este ecosistema estuvo sometido a fuertes variaciones lo que ocasionó que el oxígeno bajara en su concentración. Esto pudo deberse al incremento en las lluvias durante estos meses lo que trajo consigo el arrastre de material particulado y orgánico por escorrentía. Existe también una alta correlación entre aguas poco oxigenadas y altas concentraciones de Fe⁺³, Mn⁺², amonio y fósforo (Marín, 2003). Los sitios ubicados en Candelaria y los Cebollitos son los que presentan las menores concentraciones de oxígeno disuelto con valores promedio de 2.14 y 2.36 mg/L respectivamente. La Avellana y San Pedro son los sitios que presentan mayor concentración de oxígeno con valores promedio de 7.27 y 7.87 mg/L.

Cuadro 5. Mediciones de oxígeno disuelto, en porcentaje.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	Candelaria	28.50	1.20	6.60	76.10	NM	28.10
2	Monterrico Embarcadero	69.50	109.30	46.80	122.60	NM	87.05
3	Hawaii	115.50	51.40	10.80	NM	85.60	65.83
4	El Papaturre	132.50	70.10	43.10	NM	NM	81.90
5	El Dragado	137.00	92.30	49.10	59.40	NM	84.45
6	Agua Dulce	1.30	109.70	44.50	71.40	NM	56.73
7	La Avellana	155.30	91.20	61.70	89.10	NM	99.33
8	San Pedro	127.90	107.00	107.00	81.60	NM	105.88
9	El Repecho	97.60	160.30	13.40	74.20	NM	86.38
10	Pozo Monterrico, Estación CECON	14.50	19.30	12.10	102.70	46.10	38.94
11	El Pumpo	70.10	104.80	41.40	53.90	NM	67.55
12	Iztapa	77.90	86.20	71.80	NM	27.30	65.80
13	El Cebollito	NM	42.50	12.40	NM	41.20	32.03
	Promedio	85.63	80.41	40.05	81.22	50.05	

NM: No medido.

Los meses que presentan menor porcentaje de oxigenación son los meses de julio y octubre, con valores de 40.05 y 50.05 respectivamente. Durante el mes de marzo se presenta el mayor valor de oxígeno disuelto y es el mes en el que se observó una sobresaturación en los sitios ubicados en Hawaii, El Papaturre, El Dragado, La Avellana, y San Pedro. El sitio que presentó sobresaturación en la mayoría de los muestreos es San Pedro con un promedio de 105.88% de oxígeno disuelto. Los sitios que presentan menor concentración de oxígeno son El Cebollito y el pozo ubicado en la Estación del Cecón, con valores de 32.03 y 38.94%.

Cuadro 6. Mediciones de conductividad, en micro Siemens –uS-, realizadas en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	<i>Candelaria</i>	1123	26000	5040	534	3780	7295
2	<i>Monterrico embarcadero</i>	1123	125800	29400	750	5920	32599
3	<i>Hawaii</i>	38900	9000	142900	NM	9300	50025
4	<i>El Papaturro</i>	14270	8460	41900	NM	NM	21543
5	<i>El Dragado</i>	15190	9140	62200	1120	8650	19260
6	<i>Agua Dulce</i>	18640	9080	64000	731	5400	19570
7	<i>La Avellana</i>	9330	9550	141600	1499	7690	33934
8	<i>San Pedro</i>	14840	127000	10220	568	4310	31388
9	<i>El Repecho</i>	18930	129600	36200	595	4610	37987
10	<i>Pozo Monterrico, estación CECON</i>	4540	12250	45700	10600	68300	28278
11	<i>El Pumpo</i>	6710	109500	21300	590	4570	28534
12	<i>Iztapa</i>	23900	137000	230000	NM	8600	99875
13	<i>El Cebollito, pozo</i>	NM	9060	102900	NM	24600	45520
	Promedio	13958	55495	71797	1887	12978	

NM: No medido.

Los valores de conductividad medidos para el mes de septiembre son los que presentan los menores valores de conductividad. Esto puede deberse a que durante el mes de septiembre hubo una gran cantidad de lluvia, lo que influyó directamente en la cantidad de agua dulce que bajó de los ríos hacia el canal. Durante el mes de octubre se observa un aumento en la conductividad lo que indica que hubo intrusión salina debida a las mareas. El mes de julio es el que presenta el promedio mas alto con un valor de 71,797 uS. El sitio que presenta la menor conductividad es La Candelaria con un valor de 7,295 uS. Iztapa es el sitio que presenta el mayor promedio con un valor de 99,875 uS, seguido por Hawaii con 50,025 uS. Estos son los dos sitios que están más cercanos al mar por lo que presentan gran influencia de las corrientes de agua salada inducidas por las mareas que avanzan aguas arriba. El resto de los sitios presenta valores de conductividad que caracterizan a las aguas estuarinas, con valores promedio que van desde 19,260 hasta 37,987 uS. También se observa que los pozos de El Cebollito y de la Estación del Cecón presentan alta conductividad con valores promedio de 45,520 y 28,278 uS, lo que indica que tienen gran cantidad de sales disueltas.

Cuadro 7. Valores de salinidad, por mil, medidos en los sitios de muestreo ubicados en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	Candelaria	0.6	14.3	2.7	<0.1	2.0	3.9
2	Monterrico embarcadero	0.6	OFL	18.2	0.1	3.2	14.4
3	Hawaii	24.8	4.6	OFL	NM	5.2	21.2
4	El Papaturre	8.2	4.3	26.9	NM	NM	13.1
5	El Dragado	8.8	4.7	42.1	0.3	4.8	12.1
6	Agua Dulce	11.0	4.7	42.2	0.1	5.0	12.6
7	La Avellana	5.2	4.9	OFL	0.5	4.2	13.0
8	San Pedro	8.6	OFL	5.8	<0.1	2.3	13.3
9	El Repecho	1.1	OFL	22.8	<0.1	2.5	15.3
10	Pozo Monterrico, estación CECON	2.4	6.6	29.6	5.5	3.6	9.5
11	El Pumpo	3.7	OFL	12.7	<0.1	2.4	13.8
12	Iztapa	14.4	OFL	0.1	NM	4.8	17.3
13	El Cebollito, pozo	NM	4.8	OFL	NM	14.9	23.2
	Promedio	7.5	23.0	27.2	0.7	4.6	

NM: No medido.

OFL: Por encima del límite de detección (50 partes por mil)

Durante el mes de septiembre se presenta el menor valor de salinidad lo que coincide con el menor valor de conductividad para este mes. Durante el mes de julio también se presenta el mayor valor de salinidad que también coincide con la mayor conductividad. Durante el mes de julio también se presenta el menor valor de oxígeno disuelto (en %). La solubilidad del oxígeno en el agua disminuye con el incremento de su salinidad (Roldán, 1993).

Al igual que la conductividad, los valores de salinidad son mayores para El Cebollito y para Hawaii con promedios de 23.2 y 27.2 respectivamente lo que corrobora que en estos sitios hay una mayor concentración de iones disueltos.

Cuadro 8. Sólidos Totales Disueltos (TDS) en mg/L, medidos en los sitios de muestreo ubicados en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	Candelaria	553	13000	2640	480	1958	3726
2	Monterrico Embarcadero	553	62900	17490	655	3130	16946
3	Hawaii	23800	4500	71450	NM	5050	26200
4	El Papaturre	79800	4230	25800	NM	NM	36610

5	<i>El Dragado</i>	85300	4570	40300	988	4670	27166
6	<i>Agua Dulce</i>	106400	4540	41600	641	2890	31214
7	<i>La Avellana</i>	50600	4775	70800	1301	4110	26317
8	<i>San Pedro</i>	83200	63500	5580	504	2240	31005
9	<i>El Repecho</i>	108200	64800	21900	525	2410	39567
10	<i>Pozo Monterrico, Estación CECON</i>	23700	6125	28500	5300	44900	21705
11	<i>El Pumpo</i>	35500	54750	12280	523	2390	21089
12	<i>Iztapa</i>	139100	68500	110.1	NM	4640	53088
13	<i>El Cebollito</i>	NM	4530	51450	NM	14350	23443
	Promedio	61392	27748	29992	1213	7728	

NM: No medido

Los valores de sólidos totales disueltos medidos en sitio indican que el mes de marzo es el mes en el que se presentó en promedio la mayor cantidad de sólidos con un valor de 61.392 g/L. Los sólidos disueltos se presentan en mayor concentración durante el mes de marzo, lo que coincide con el mes de época seca cuando se registró la menor profundidad en la columna de agua (1.10 metros), por lo que la cantidad de iones disueltos era mayor. El mes de septiembre es el que presenta la menor cantidad de sólidos disueltos, ya que durante este mes se presentó la mayor cantidad de precipitación. Esto influyó directamente en la disolución de los sólidos, disminuyendo su concentración por efecto de la mayor cantidad de agua presente en la columna con un valor promedio de 1.76 metros.

El sitio que presenta mayor promedio de sólidos es Iztapa, con un valor de 53.088 g/L, lo que coincide con las mediciones de conductividad y de salinidad, lo que corrobora que es el sitio con mayor influencia de agua salina.

Cuadro 9. Medición de profundidad de la columna de agua en los sitios de muestreo, ubicados en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos múltiples Monterrico, durante el 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	<i>Candelaria</i>	NM	1.80	1.00	2.60	2.00	1.85
2	<i>Monterrico Embarcadero</i>	0.81	0.70	1.00	1.00	NM	0.88
3	<i>Hawaii</i>	2.78	2.80	3.00	NM	NM	2.86
4	<i>El Papaturre</i>	0.94	0.35	0.60	NM	NM	0.63
5	<i>El Dragado</i>	1.38	1.30	1.50	2.00	1.70	1.58
6	<i>Agua Dulce</i>	0.37	0.60	0.70	1.30	1.10	0.81
7	<i>La Avellana</i>	0.51	0.80	0.40	2.05	1.60	1.07
8	<i>San Pedro</i>	0.88	0.97	1.10	2.00	1.70	1.33
9	<i>El Repecho</i>	1.12	0.35	0.60	1.30	1.10	0.89
10	<i>Pozo Monterrico, Estación CECON</i>	NM	NM	NM	NM	NM	NM

11	<i>El Pumpo</i>	NM	0.60	0.90	1.80	1.35	1.16
12	<i>Iztapa</i>	NM	1.50	NM	NM	NM	1.50
13	<i>El Cebollito</i>	NM	2.00	1.70	NM	NM	1.85
	Promedio	1.10	1.15	1.14	1.76	1.51	

NM: No medido

En promedio el mes que presenta menor profundidad de la columna de agua es el mes de marzo, con un valor de 1.10 metros. El incremento en la columna de agua no se ve muy influenciado durante el inicio de la época lluviosa, incrementándose hasta un valor de 1.15 y 1.14 durante los meses de mayo y julio. Sin embargo durante el mes de septiembre presenta un aumento en la columna de agua de más de sesenta centímetros.

Cuadro 10. Visibilidad en la columna de agua registrada durante las mediciones efectuadas durante los muestreos efectuados en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	<i>Candelaria</i>	NM	0.70	0.50	0.30	0.30	0.45
2	<i>Monterrico Embarcadero</i>	0.21	0.25	0.45	1.00	NM	0.48
3	<i>Hawaii</i>	0.64	0.68	0.40	NM	NM	0.57
4	<i>El Papaturre</i>	0.24	0.15	0.45	NM	NM	0.28
5	<i>El Dragado</i>	0.32	0.40	0.60	0.70	0.60	0.52
6	<i>Agua Dulce</i>	0.28	0.40	0.45	1.00	1.00	0.63
7	<i>La Avellana</i>	0.14	0.10	0.20	0.50	0.60	0.31
8	<i>San Pedro</i>	0.28	0.40	0.60	0.50	0.50	0.46
9	<i>El Repecho</i>	0.30	0.20	0.50	0.70	0.65	0.47
10	<i>Pozo Monterrico, Estación CECON</i>	NM	NM	NM	NM	NM	NM
11	<i>El Pumpo</i>	NM	0.20	0.50	0.40	0.50	0.40
12	<i>Iztapa</i>	NM	NM	NM	NM	NM	NM
13	<i>El Cebollito</i>	NM	0.45	0.50	NM	NM	0.48
	Promedio	0.30	0.36	0.47	0.64	0.59	

NM: No medido

En promedio, el mes de marzo es el que presenta la menor visibilidad o penetración de la luz en la columna de agua, con un valor de 0.30 metros. Esto coincide con la concentración total de sustancias o minerales disueltos en la columna de agua. El mes que presenta la mayor visibilidad es el mes de septiembre con una visibilidad promedio de 0.64 metros, que ocurrió cuando hubo más columna de agua y la disolución de sólidos fue menor. Los sitios que tuvieron la menor visibilidad fueron El Papaturre y La Avellana con valores promedio de 0.28 y 0.31 metros.

Cuadro 11. Mediciones de nitrógeno de nitritos en mg/L, en agua del canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	<i>Candelaria</i>	0.166	0.016	0.001	0.039	0.019	0.019
2	<i>Monterrico Embarcadero</i>	0.077	0.028	0.002	0.023	0.650	0.176
3	<i>Hawaii</i>	0.023	0.010	0.020	NM	0.006	0.012
4	<i>El Papaturro</i>	0.040	0.043	0.044	NM	NM	0.043
5	<i>El Dragado</i>	0.079	0.024	0.047	0.013	0.010	0.023
6	<i>Agua Dulce</i>	0.447	0.030	0.010	0.008	0.011	0.015
7	<i>La Avellana</i>	0.050	0.054	0.001	0.019	0.028	0.025
8	<i>San Pedro</i>	0.072	0.034	0.001	0.021	0.015	0.018
9	<i>El Repecho</i>	0.017	0.034	0.002	0.013	0.017	0.016
10	<i>Pozo Monterrico, Estación CECON</i>	0.048	0.038	0.000	0.478	0.001	0.129
11	<i>El Pumpo</i>	0.042	0.054	0.015	0.009	0.041	0.030
12	<i>Iztapa, muella a Monterrico</i>	0.065	0.390	0.001	0.052	0.013	0.114
13	<i>El Cebollito</i>	NM	0.014	0.008	NM	0.014	0.012
	Promedio	0.094	0.059	0.012	0.067	0.069	

NM: No medido

En ríos se pueden observar grandes cantidades de nitritos (NO_2^-) en el verano (época cálida), en condiciones de flujo lento como resultado de la desasimilación del nitrato por reducción en sedimentos anaeróbicos (Wetzel, 2007), lo que se puede observar en el promedio del mes de marzo en el que existe la mayor concentración de nitrógeno de nitritos, el cual empieza a disminuir en la época lluviosa (mes de mayo) bajando su concentración en julio y aumentando nuevamente durante el mes de septiembre. En dicho mes hubo un incremento de las lluvias lo que ocasionó que por escorrentía lleguen altas concentraciones de nutrientes.

En aguas superficiales bien oxigenadas, la concentración de nitritos no suele superar los 0.100 mg/L, pero en sitios contaminados por aguas residuales urbanas estos niveles pueden incrementarse (Marín, 2003). Los sitios que presentan los mayores concentraciones en promedio son el Embarcadero de Monterrico, el pozo de la Estación del Cecón e Iztapa con valores de 0.176, 0.129 y 0.114 respectivamente. Su presencia en agua indica que existe contaminación fecal reciente (Marín, 2003), lo que es peligroso si se ingiere agua contaminada con nitritos porque puede provocar metahemoglobinemia, lo que causa que no se fije el oxígeno y no se pueda realizar la respiración celular (Marín, 2003), lo que puede causar la muerte principalmente en niños y adultos mayores.

Los sitios que presentan la menor contaminación por nitrógeno de nitritos son Hawaii y El Cebollito con un valor promedio de 0.012 mg/L.

Respecto a la concentración de nitritos en el agua, esta se puede clasificar como oligotrófica por su concentración, ya que de acuerdo a Vollenweider (1968), en Roldán (1993), este rango va de 0.0 a 0.5 mg/L.

Cuadro 12. Nitratos medidos en mg/L, en agua del canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	<i>Candelaria</i>	0.085	0.023	0.034	0.011	0.038
2	<i>Monterrico Embarcadero</i>	0.052	0.051	0.037	0.869	0.252
3	<i>Hawaii</i>	0.064	0.020	NM	0.016	0.025
4	<i>El Papaturro</i>	0.046	0.019	NM	NM	0.016
5	<i>El Dragado</i>	0.059	0.021	0.053	0.017	0.038
6	<i>Agua Dulce</i>	1.367	0.042	0.031	0.010	0.363
7	<i>La Avellana</i>	0.055	0.054	0.040	0.012	0.040
8	<i>San Pedro</i>	0.043	0.018	0.051	0.015	0.032
9	<i>El Repecho</i>	0.022	0.026	0.071	0.009	0.032
10	<i>Pozo Monterrico, Estación CECON</i>	0.041	0.023	0.120	0.039	0.056
11	<i>El Pumpo</i>	0.012	0.023	0.049	0.015	0.025
12	<i>Iztapa, muella a Monterrico</i>	0.039	0.232	0.059	0.021	0.088
13	<i>El Cebollito</i>	NM	0.024	NM	0.027	0.017
	Promedio	0.157	0.044	0.042	0.081	

NM: No medido

En general las aguas superficiales no presentan concentraciones mayores de 10 mg/L, e incluso no pasan de 1.0 mg/L (Marín, 2003). En las mediciones realizadas solo se observa que en el sitio ubicado en Agua Dulce se tuvo el valor más alto (1.367 mg/L) durante el mes de marzo. Se observa que durante la estación seca hay mayor concentración de nitratos, la cual va disminuyendo a medida que avanza la época lluviosa, durante la cual aumenta la columna de agua disminuyendo la concentración de nitratos por efecto de dilución. Durante el mes de octubre se observa de nuevo un incremento en la concentración de nitratos debida a la escorrentía provocada por la lluvia la cual arrastra parte de los fertilizantes nitrogenados (Marín, 2003) utilizados en la región.

Los sitios que presentan en promedio la mayor concentración de nitratos son Agua Dulce y el Embarcadero de Monterrico con valores de 0.363 y

0.252 mg/L. El Cebollito y el Papaturre son los sitios que presentan en promedio las menores concentraciones de nitrógeno de nitratos con valores de 0.017 y 0.016 mg/L.

Cuadro 13. Valores de Nitrógeno total en muestras de agua del canal de Chiquimulilla y Reserva de usos Múltiples Monterrico, medidos durante 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	Candelaria	0.565	0.661	0.705	0.416	0.419	0.587
2	Monterrico Embarcadero	0.838	1.003	1.367	0.942	0.416	1.037
3	Hawaii	0.491	0.498	1.058	0.000	0.424	0.512
4	El Papaturre	0.755	0.558	50.216	0.000	0.000	12.882
5	El Dragado	0.735	0.567	0.567	0.677	0.396	0.636
6	Agua Dulce	0.697	0.584	0.594	0.353	0.531	0.557
7	La Avellana	0.642	0.669	0.812	0.474	0.398	0.649
8	San Pedro	0.697	0.786	0.555	0.427	0.413	0.616
9	El Repecho	0.551	1.443	0.669	0.449	0.375	0.778
10	Pozo Monterrico, Estación CECON	0.970	3.967	3.471	0.459	0.444	2.217
11	El Pumpo	0.811	0.553	0.632	0.418	0.382	0.604
12	Iztapa, muella a Monterrico	0.697	1.204	0.938	0.438	0.929	0.819
13	El Cebollito	0.000	0.879	0.782	0.000	0.449	0.415
	Promedio	0.650	1.029	4.797	0.389	0.429	

Julio es el mes que presenta en promedio la mayor cantidad de nitrógeno con un valor de 4.797 mg/L. Esto se debe a que durante la época lluviosa se arrastra por escorrentía una gran cantidad de material particulado y al lavado de fertilizantes del suelo. El sitio que presentó la mayor cantidad de nitrógeno total es El Papaturre con un valor promedio de 12.882 mg/L. El pozo de la Estación de Monterrico con una concentración de 2.217 mg/L y el Embarcadero de Monterrico son los otros puntos que presentan altos valores con 2.217 y 1.037 mg/L.

Cuadro 14. Fósforo de ortofosfatos en mg/L medido en aguas del canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2007.

Número	Nombre	Mar '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	Candelaria	0.450	0.224	0.191	0.211	0.169	0.249
2	Monterrico Embarcadero	0.226	0.236	0.196	0.120	0.169	0.189
3	Hawaii	0.076	0.030	0.186	NM	0.129	0.105
4	El Papaturre	0.125	0.083	0.176	NM	NM	0.128
5	El Dragado	0.290	0.037	0.185	0.117	0.093	0.144

6	Agua Dulce	0.077	0.049	0.208	0.141	0.150	0.125
7	La Avellana	0.152	0.050	0.132	0.091	0.172	0.120
8	San Pedro	0.265	0.065	0.135	0.186	0.108	0.152
9	El Repecho	0.052	0.042	0.181	0.123	0.158	0.111
10	Pozo Monterrico, Estación CECON	0.139	0.042	0.099	0.114	0.139	0.107
11	El Pumpo	0.210	0.065	0.216	0.204	0.211	0.181
12	Iztapa	0.187	0.100	0.228	0.306	0.250	0.214
13	El Cebollito	NM	0.027	0.185	NM	0.127	0.113
	Promedio	0.187	0.081	0.178	0.161	0.156	

NM: No medido.

Mayo es el mes en el que se observa el valor promedio más alto en concentración, con un valor de 0.187 mg/L. En mayo disminuye la concentración de fósforo, debido al inicio de la época lluviosa. En julio se nota un incremento en la concentración de fosfato, el cual se debe al lavado de los suelos agrícolas por el agua de lluvia que renueva la cantidad de fósforo disponible (Marín, 2003). Los sitios que presentan mayor valor en promedio son La Candelaria e Iztapa con valores de 0.249 y 0.214 mg/L. Los sitios que presentan en promedio las menores concentraciones son el pozo de la Estación del Cecón y Hawaii con valores de 0.107 y 0.105 mg/L. Ninguno de los valores medidos sobrepasa el valor guía de 1.0 mg/L para aguas naturales no contaminadas.

Cuadro 15. Fósforo total en mg/L, en agua del canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	Candelaria	0.402	0.214	0.151	0.139	0.065	0.194
2	Monterrico Embarcadero	0.353	0.046	0.170	0.099	0.065	0.147
3	Hawaii	0.072	0.090	0.145	NM	0.073	0.095
4	El Papaturro	0.134	0.164	0.151	NM	NM	0.150
5	El Dragado	0.192	0.108	0.151	0.093	0.058	0.120
6	Agua Dulce	0.047	0.142	0.166	0.098	0.073	0.105
7	La Avellana	0.151	0.154	0.162	0.075	0.068	0.122
8	San Pedro	0.375	0.176	0.119	0.121	0.081	0.174
9	El Repecho	0.079	0.148	0.150	0.103	0.077	0.111
10	Pozo Monterrico, Estación CECON	0.153	0.067	0.074	0.071	0.077	0.088
11	El Pumpo	0.226	0.207	0.153	0.130	0.082	0.159
12	Iztapa, muella a Monterrico	0.196	0.106	0.159	0.151	0.133	0.149
13	El Cebollito	NM	0.115	0.160	NM	0.085	0.120
	Promedio	0.198	0.133	0.147	0.108	0.078	

NM: No medido.

Los contenidos de P-total en aguas naturales no contaminadas son del orden de 0.100 mg/L a 1.0 mg/L (Marín, 1993). En promedio, ninguno de los valores obtenidos en las mediciones realizadas sobrepasa el valor límite de 1.0 mg/L. El mes que presenta el mayor promedio es el mes de marzo con un valor de 0.198 mg/L. Se observa una tendencia a la disminución en la concentración de fósforo. Los sitios que presentan las mayores concentraciones son La Candelaria y El Pumpo con valores de 0.194 y 0.159 mg/L respectivamente. Los sitios que presentan en promedio las menores concentraciones son Hawaii y el pozo de la Estación del Cecón, con valores de 0.095 y 0.088 mg/L, que coincide con la menor cantidad de fosfato disponible.

Cuadro 16. Sulfatos medidos en agua del canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	Candelaria	175.6	193.9	68.9	123.4	95.4	131.4
2	Monterrico Embarcadero	319.6	332.8	441.2	75.5	60.9	246.0
3	Hawaii	531.0	303.3	433.2	NM	103.4	342.7
4	El Papaturro	240.8	285.7	660.6	NM	NM	395.7
5	El Dragado	277.4	292.0	100.8	155.3	119.4	189.0
6	Agua Dulce	276.6	287.3	104.8	39.6	60.9	153.8
7	La Avellana	243.0	301.7	517.0	177.9	150.0	277.9
8	San Pedro	268.0	290.7	92.8	104.8	100.8	171.4
9	El Repecho	266.6	272.6	536.9	111.4	72.8	252.1
10	Pozo Monterrico, Estación CECON	8.0	172.0	276.3	252.4	225.8	186.9
11	El Pumpo	105.4	283.1	168.6	96.8	63.5	143.5
12	Iztapa	282.4	189.7	415.9	187.2	119.4	238.9
13	El Cebollito	NM	305.9	188.5	NM	298.9	264.4
	Promedio	249.5	270.1	308.1	132.4	122.6	

NM: No medido

La concentración de sulfatos en aguas es variable, y puede oscilar entre 20 y 50 mg/L en ríos de América y concentraciones mayores de 400 mg/l en zonas mediterráneas (Marín, 2003). En todos los valores promedio medidos en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico se sobrepasa este valor. Esto se debe a la geología del lugar, y a la disolución de yesos (CaSO₄) existente en la cuenca del canal. El mes que presenta en promedio la mayor concentración de sulfatos es julio con un valor de 308.1 mg/L. Se observa una tendencia al aumento en la concentración con el inicio de la época lluviosa que luego empieza a disminuir con el aumento en la columna de agua, lo cual favorece su dilución por la gran cantidad de agua que hubo en el canal, al haber aumentado su profundidad en más de sesenta

centímetros. El aumento en los primeros meses del invierno se debe al arrastre de material particulado que proviene de los suelos por arrastre del agua y su dilución en el mismo. Luego un efecto de dilución durante el mes de septiembre y una disminución durante el mes de octubre, cuando probablemente empiezan a precipitar los sulfatos insolubles por efecto de la disminución del caudal del río. Los sitios que presentan los mayores valores son El Papaturro y Hawaii con valores de 395.7 y 342,7 mg/L. Los menores valores presentados ocurren en El Pumpo y Candelaria con 143.5 y 131.4 mg/L respectivamente.

Cuadro 17. Sólidos sedimentables en ml/L, en aguas del canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2007.

Número	Nombre	Marzo '07	Mayo '07	Julio '07	Septiembre '07	Octubre '07	Promedio
1	Candelaria	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
2	Monterrico embarcadero	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
3	Hawaii	<0.1	<0.1	0.1	NM	<0.1	<0.1
4	El Papaturro	<0.1	0.1	<0.1	NM	NM	<0.1
5	El Dragado	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
6	Agua Dulce	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
7	La Avellana	0.3	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
8	San Pedro	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
9	El Repecho	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
10	Pozo Monterrico, estación CECON	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
11	El Pumpo	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
12	Iztapa	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
13	El Cebollito	NM	<0.1	<0.1	NM	<0.1	<0.1
	Promedio	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	

NM: No medido

Los sólidos sedimentables presentan mayor concentración durante el mes de marzo con valores de 0.5, 0.4 y 0.3 mL/L para los sitios ubicados en Agua Dulce, El Repecho y La Avellana durante el mes de marzo. Estos sitios son los que presentan también los mayores valores en sólidos sedimentables para todo el estudio.

Cuadro 19. Resultados de los análisis microbiológicos realizados durante el mes de marzo de 2007, en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

No.	Sitio de colecta	Recuento aeróbico en placa (UFC/ml)	Coliformes total UFC/100 ml	Coliformes fec UFC/100 ml	<i>Escherichia coli</i>	Colifagos UFP/100 ml
-----	------------------	-------------------------------------	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	----------------------

1	Hawaii	600	70	20	presente	No se aislaron
2	El Papaturro	42000	3500	2000	presente	No se aislaron
3	La Avellana	24000	134000	22000	presente	No se aislaron
4	San Pedro	3000	80000	3000	presente	No se aislaron
5	El Pumpo	18000	160000	4000	presente	No se aislaron
6	Candelaria	28000	150	120	presente	No se aislaron
7	Monterrico	13000	94000	5000	presente	No se aislaron
8	Pozo Monterrico (CECON)	120	100	10	presente	No se aislaron
9	Iztapa	6200	140	50	presente	No se aislaron

Las bacterias coliformes totales se consideran como indicador de la presencia de organismos patógenos que causan problemas a la salud pública. Si las concentraciones son menores que 100 UFC/100mL se considera que es improbable que existan problemas de coliformes, menos de 1000 UFC/100 mL es posible y arriba de 1000 UFC/100mL es probable (EPA, 1985). En las muestras colectadas, Hawaii, Candelaria, el pozo ubicado en la Estación del Cecón e Iztapa presentan valores menores a 1000 UFC/100 mL, el resto de las muestras sobrepasa este valor por lo que se considera que el agua del canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico presentó problemas de bacterias coliformes, durante el mes de marzo.

Las características de un agua están relacionadas con su aspecto sanitario y los microorganismos que alberga afectan a la salud humana. Bacterias como *Escherichia coli* son organismos productores de la enfermedad Colibacilosis (Marín, 2003). En las muestras de agua tomadas durante el mes de marzo se observa que en todas presentan *Ecoli*, lo que indica que son transmisoras de esa enfermedad.

Cuadro 20. Resultados de los análisis microbiológicos del mes de mayo de 2007, del agua colectada en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

No.	Sitio de colecta	Recuento aerobico en placa (UFC/ml)	Coliformes totales UFC/100 ml	Coliformes fecales UFC/100 ml	Escherichia coli	Colifagos UFP/100 ml
1	Hawaii	2900	70	20	presente	No se aislaron
2	El Papaturro	3000	2000	130	presente	No se aislaron
3	El Cebollito (Pozo)	1200	90	60	presente	No se aislaron
4	La Avellana	1800	120	30	presente	No se aislaron
5	San Pedro	9000	2000	2000	presente	No se aislaron
6	El Pumpo	1100	100	45	presente	No se aislaron
7	Candelaria	1300	2000	25	presente	No se aislaron
8	Monterrico	1000	120	50	Ausente	No se aislaron

9	Pozo Monterrico (CECON)	110	10	< 2	Ausente	No se aislaron
10	Iztapa	5400	80	40	presente	No se aislaron

Los sitios que presentaron valores superiores a 1000 UFC/100 mL de Coliformes totales son El Papaturre, San Pedro y Candelaria. Estos valores indican que estos sitios de colecta tuvieron probabilidad de problemas asociados a coliformes.

Durante el mes de mayo no se encontró presencia de la bacteria *Escherichia coli* en el sitio ubicado en Monterrico y en el pozo de la Estación del Cecón de Monterrico. Los otros sitios si presentan contaminación, por lo que esta agua es transmisora de la enfermedad Colibacilosis.

Cuadro 21. Resultados de los análisis microbiológicos realizados a las muestras de agua colectadas en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el mes de julio de 2007.

No.	Sitio de colecta	Recuento aeróbico en placa (UFC/ml)	Coliformes total UFC/100 ml	Coliformes fecales UFC/100 ml	Escherichia coli	Colifagos UFP/100 ml
1	Hawaii	3000	25	2	Ausente	No se aislaron
2	El Papaturre	61000	330	20	Presente	200
3	El Cebollito (Pozo)	1600	500	20	Presente	No se aislaron
4	La Avellana	6500	150	10	Ausente	No se aislaron
5	San Pedro	12500	64	2	Ausente	No se aislaron
6	El Pumpo	6500	50	2	Ausente	50
7	Candelaria	31000	115	10	Ausente	100
8	Monterrico	23000	150	4	Presente	No se aislaron
9	Pozo Monterrico (CECON)	180	60	10	Presente	100
10	Iztapa	362000	2000	40	Presente	150

Los resultados de los análisis de Coliformes Totales indican que durante este mes los valores disminuyeron, solo en Iztapa se presenta una concentración de 2000 UFC/100 mL. Esto indica que es improbable que haya existido problemas por bacterias coliformes.

Durante el mes de julio de los 10 sitios muestreados se observa que 5 de ellos presentan contaminación por *Escherichia coli*, estos son El Papaturre, el pozo ubicado en El Cebollito, el embarcadero de Monterrico y el pozo de la Estación del Cecón en Monterrico. La presencia de esta bacteria en los pozos para agua de consumo humano afecta

directamente la salud de los consumidores ya que se ha indicado que esta es transmisora de Colibacilosis.

Cuadro 22. Resultados de los análisis microbiológicos realizados a las muestras de agua colectadas en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el mes de septiembre de 2007.

No.	Sitio de colecta	Recuento aerobio en placa (UFC/ml)	Coliformes totales UFC/100 ml	Coliformes fecales UFC/100 m	Escherichia coli	Colifagos	Salmonella spp	Shigella spp
1	La Avellana	5800	30000	2600	Presente	No se aislaron	Se aislaron	No se aislaron
2	San Pedro	64000	25400	700	Ausente	30	Se aislaron	No se aislaron
3	El Pumpo	8200	20000	2300	Presente	25	Se aislaron	No se aislaron
4	Candelaria	21500	28000	1000	Presente	25	Se aislaron	No se aislaron
5	Monterrico	45000	16000	300	Ausente	10	Se aislaron	No se aislaron
6	Pozo Monterrico (CECON)	50	100	10	Ausente	No se aislaron	Se aislaron	No se aislaron

NM: No medido.

Los resultados de la medición de Coliformes Totales muestran que fue muy probable que hubo problemas por bacterias coliformes, ya que los valores sobrepasan el valor de 10,000 UFC/100 mL, que indica que hay una fuerte probabilidad de tener problemas por bacterias coliformes (EPA, 1985). El pozo ubicado en la Estación de Monterrico presenta un valor por debajo de los límites, con 100 UFC/100 mL.

Algunos microorganismos pueden afectar directamente la salud humana, ocasionando enfermedades de transmisión hídrica. Algunas de estas enfermedades son Fiebre Tifoidea producida por bacterias del tipo *Salmonella*, Disentería producida por *Shigella* (Marín, 2003). En las muestras colectadas en 6 sitios de muestreo se reporta *Salmonella*.

Se presenta contaminación por *Escherichia coli* en La Avellana, El Pumpo y Candelaria.

Cuadro 23. Resultado de los análisis microbiológicos realizados a las muestras de agua colectadas en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el mes de octubre de 2007.

No.	Punto	Recuento aerobio en placa	Coliformes totales UFC/100 ml	Coliformes fecales UFC/100 m	Escherichia coli	Colifagos	Salmonella spp	Shigella spp
-----	-------	---------------------------	-------------------------------	------------------------------	------------------	-----------	----------------	--------------

		(UFC/ml)						
1	Hawaii	8300	5300	3000	Presente	5	Se aislaron	No se aislaron
2	El Cebollito (Pozo)	6000	800	40	Ausente	No se aislaron	No se aislaron	No se aislaron
3	La Avellana	10000	9000	1200	Presente	No se aislaron	Se aislaron	No se aislaron
4	San Pedro	41000	15200	4000	Ausente	45	Se aislaron	No se aislaron
5	El Pumpo	17000	12700	4000	Presente	75	Se aislaron	No se aislaron
6	Candelaria	45000	18200	5000	Presente	110	Se aislaron	No se aislaron
7	Monterrico	13500	7500	600	Presente	20	Se aislaron	No se aislaron
8	Pozo Monterrico (CECON)	600	900	80	Presente	No se aislaron	No se aislaron	No se aislaron
9	Iztapa	7000	25000	2000	Presente	10	Se aislaron	No se aislaron

Las muestras colectadas en los pozos ubicados en los sitios de El Cebollito y en la Estación del Cecón en Monterrico son los que presentan valores menores a 1000 UFC/100 mL.

En el mes de octubre no se aislaron bacterias de *salmonella* en los sitios de muestreo ubicados en los pozos, El Cebollito y Estación del Cecón en Monterrico. En el resto de muestras de agua si se aislaron por lo que se considera que el agua del canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples tomada es transmisora de enfermedades como la Tifoidea, no así para la Tifoidea cuyo transmisor es la bacteria *shighella*.

Cuadro 24. Resultados fitoplancton en las muestras de agua colectadas en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

AREA DE MUESTREO	GÉNEROS ENCONTRADOS	GÉNEROS POR LUGAR DE MUESTREO
HAWAII	<i>Mycrocystis, Lyngbya, Botryococcus, Cyclotella, Nitschia, Navicula, Stauroneis</i>	7
EL CEBOLLITO	<i>Mycrocystis, Anacystis, Micrasteria, Botryococcus, Closterium Coscinodiscus, Cyclotella, Nitschia, Stauroneis, Cyllindrotheca, Synedra,</i>	11
LA AVELLANA	<i>Anacystis, Mycrosystis, Botryococcus, Closterium Stauroneis, Navicula, Nitschia, Cyclotella, Synedra, Amphiprora</i>	10

SAN PEDRO	<i>Miyrocystis, Anacystis, Gomphosphaeria Botryococcus, Coelastrum Cyclotella, Navicula, Nitschia</i>	8
EL PUMPO	<i>Anacystis, Botryococcus, Navicula, Synedra, Nitschia, Cyclotella, Diatoma, Hemiaulus, Trapidoneis, Diploneis, Thalassiothrix</i>	11
CANDELARIA	<i>Anacystis, Myrocystis, Gomphosphaeria, Botryococcus, Nitschia, Cymbella, Stephanopysis</i>	7
MONTERRICO	<i>Anacystis, Myrocystis, Stauroneis, Nitschia, Diploneis, Synedra, Cyclotella, Biddulphia, Trapidoneis, Hemiaulus</i>	10

Los géneros de cianofíceas como *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria* y *Nodularia* son tóxicas. Estas producen toxinas que afectan el hígado el sistema neurotransmisor. También pueden producir gastroenteritis, vómitos y trastornos hepáticos (Marín, 2003). Estas cianofíceas están presentes en los sitios de colecta de muestras de agua en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

Cuadro 25. Georeferencia de los sitios de muestreo ubicados en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2007.

Número	Nombre		
1	<i>Candelaria</i>	13° 55.190"	90° 33.221"
2	<i>Monterrico Embarcadero</i>	13° 53.807"	90° 28.790"
3	<i>Hawaii</i>	13° 51.859"	90° 24.358"
4	<i>El Papaturre</i>	13° 54.282"	90° 25.959"
5	<i>El Dragado</i>	13° 53.880"	90° 26.833"
6	<i>Agua Dulce</i>	13° 53.854"	90° 27.027"
7	<i>La Avellana</i>	13° 55.071"	90° 28.249"
8	<i>San Pedro</i>	13° 54.334"	90° 28.591"
9	<i>El Repecho</i>	13° 54.299"	90° 28.333"
10	<i>Pozo Monterrico, Estación CECON</i>	13° 53.372"	90° 28.708"
11	<i>El Pumpo</i>	13° 53.854"	90° 29.759"
12	<i>Iztapa, muella a Monterrico</i>	13° 55.943"	90° 42.425"
13	<i>El Cebollito</i>	13° 52.758 "	90° 25.643"

8. Conclusiones

8.1 Los niveles de contaminación encontrados en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, indican que el agua del canal se encuentra en un proceso de eutrofización, el cual puede ser acelerado por las descargas de aguas residuales que ingresan a dicho canal.

8.2 Los niveles de nutrientes (especies de nitrógeno y fósforo) medidos en las muestras de agua indican que se encuentra en un proceso de eutrofización, con concentraciones de nitritos que van desde 0.012 hasta 0.094 mg/L en promedio para las colectas efectuadas. Las concentraciones de nitratos con rangos promedio que van desde 0.042 hasta 0.157 mg/L. Las concentraciones de fosfatos con rangos promedio de 0.081 hasta 0.187.

8.3 Los niveles de oxígeno disuelto medidos en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico indican que los sitios de Iztapa, El Cebollito y Hawaii son los que presentan menor concentración de oxígeno en promedio con valores de 4.93, 2.36 y 4.83 respectivamente, lo que afecta los procesos de oxidación que se realizan dentro del agua, afectando su dinámica.

8.4 Las lecturas de pH para los muestreos realizados en marzo, mayo, julio, y octubre de 2007 (7.72, 7.52, 7.28, 6.99 unidades, respectivamente), se mantienen dentro de valores normales para aguas naturales con suelos cársticos.

8.5 Las lecturas de conductividad con valores de 13,958; 55,495; 71,797; 1,887 y 12,978 uS indican que hay intrusión de agua de mar debida a las mareas. Que durante la época húmeda hay mayor cantidad de agua dulce y que el sitio que presenta menor cantidad de iones disueltos es La Candelaria con un valor de 7,295 uS (valor promedio).

8.6 Los valores encontrados para las mediciones de nitrógeno de nitritos en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, indican que existe contaminación fecal reciente, al encontrarse valores desde 0.001 hasta 0.650 mg/L.

8.7 Los valores encontrados para las mediciones de fósforo de fosfatos indican que el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, indican que se sobrepasa el valor guía de 1.0 mg/L para aguas naturales no contaminadas.

8.8 Los valores de sulfatos encontrados en las muestras de agua colectadas indican que existen concentraciones de sulfatos debidos a la disolución de yesos existentes en la cuenca, con valores que van desde 122.6 hasta 308.1 mg/l en promedio para los meses de colecta.

8.9 Los niveles de contaminación bacteriológica encontrados en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, indican que los sitios más contaminados en el mes de marzo fueron El Pumpo y la Avellana, en el mes de mayo muestreo fueron El Papaturo, San Pedro y Candelaria, en el mes de julio Iztapa, en el mes de septiembre La Avellana, El Pumpo, Monterrico, San Pedro y Candelaria, en el mes de octubre San Pedro, La Candelaria, Monterrico, La Avellana, La Candelaria.

8.10 Las muestras de agua colectadas en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico al tener presente la bacteria *Escherichia coli* son productoras de la enfermedad Colibacilosis.

8.11 Las muestras de agua colectadas en los sitios de colecta son portadores de *Salmonella*, causante de Fiebre Tifoidea.

8.12 Las muestras de agua colectadas en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico presentan géneros de cianofíceas (Fitoplancton) que producen toxinas que causan trastornos hepáticos, vómitos al ser ingeridas. Estas son *Mycrosystis*, *Anabaena* y *Oscillatoria*.

9. Recomendaciones

9.1 Se recomienda continuar con este tipo de estudios para establecer los niveles de contaminación en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico y su efecto en peces, plancton macrófitas y otros.

9.2 Es recomendable continuar con monitoreos periódicos que permitan establecer a largo plazo la tendencia en los niveles de contaminación de los nutrientes a efecto de tomar las medidas correctivas necesarias y evitar su deterioro.

9.3 Se recomienda continuar con las mediciones bacteriológicas, especialmente *Shigella* y *Salmonella* ya que estas afectan directamente la salud humana al ser transmisoras de enfermedades de transmisión hídrica.

9.4 Se recomienda realizar mapas que ilustren la calidad de agua de agua en los diferentes sitios de muestreo ya que esos gráficos permiten observar cuales son los sitios más alterados y son de fácil comprensión.

9.5 Se recomienda realizar estudios de metales tóxicos y de plaguicidas organoclorados en peces de interés alimenticio y comercial para asegurar la salud de la población que los consume.

9.6 Se recomienda realizar estudios de metales tóxicos en sedimentos y contaminantes organoclorados para establecer las rutas de contaminación en el ecosistema.

Bibliografía

Aguilar, F. (1997). Parasitología Médica. 3era ed. Litografía Delgado, S.A. 366 pp.

APHA, AWWAA, WPCF. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC. 1193pp. APHA, AWWAA, WPCF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC. 1193pp.

Archila, C. Et al. (1997). Determinación de Parásitos en Aguas Afluentes y Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nimajuyú. Guatemala, USAC. (Informe final del curso de Investigación de la Escuela Química Biológica).

Brown, H. (1977) Parasitología Clínica. 3era ed. Editorial Interamericana, México. 320pp.

Cairns, J. et. al. (1977). Biological Monitoring of Water and Effluent Quality. American Society for Testing and Materials, Baltimore, USA. 246pp.

Capó, M. (2002). Principios de ecotoxicología. Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. 1era edición. Madrid, España; Mc Graw Hill. 234 pp.

CECON, CONAP, INAB-UICN-UE. (1999). Plan Maestro 2,000 – 2,005. Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico. Litografía JB, Guatemala. 3-65 pp.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS-, Organización Mundial de la Salud. (2002). Medidas de protección sanitaria en el aprovechamiento de aguas residuales. 12 p.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Cepis-. (1999). Métodos Provisionales de Determinación de la Cantidad de Huevos de Helminthos que Contienen las Aguas Residuales. Disponible en www.cepis.ops-oms.org.

Colegio de Ingenieros de Guatemala –CIG-. (1995). Curso de Especialización Estudios de Impacto Ambiental Modulo I Guatemala.

Environmental Protection Agency -EPA- (1998). How Wasterwater Treatment Works.. The Basics. Estados Unidos: Office of Water. 5p.

Environmental Protection Agency -EPA- (1978). Environmental Monitoring and Support Laboratory Microbiological Methods for Monitoring the Environment Water and Wastes and Support Laboratory. Cincinnati, Ohio. (P. 5-1, 14-29 y 51).

A, USA. 444pp. APHA, AWWAA, WPCF. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC. 1193pp.

Fernández, A. (2003). Cooperación iberoamericana para un enfoque integrado en el aprovechamiento y gestión del agua: CYTED-XVII. En: Jornadas Iberoamericanas, Enfoques integrados de la problemática del agua. (2., 2003, Cartagena de Indias, Colombia). Ed. por Alicia Fernández. Cartagena de Indias, Colombia, Print and Service. 9-16 pp.

Fernández, A. (2003). Calidad de agua y contaminación química. En: Jornadas Iberoamericanas, Enfoques integrados de la problemática del agua. (2., 2003, Cartagena de Indias, Colombia). Ed. por Alicia Fernández. Cartagena de Indias, Colombia, Print and Service. 31-37.

Gerba, Ch. et al. (2000). Manual de Laboratorio Para el Análisis Microbiológico de Agua. López, MB., Álvarez M., Mendoza C., trads. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala. 117pp.

Gordon, J. Et al. (1964). Acute Diarrhoeal Disease in Less Developed Countries. INCAP Publication. 1-316: p 9.20

Herrera, K.L. (1999). Indicadores Biológicos de la Calidad del Agua en el Río Polochic y de la Integridad Biológica del lago de Izabal. (Tesis de Maestría). Departamento de Biología, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala. 99pp.

INE. (2003). Población y Locales de Habitación Particulares censados según Departamento y Municipio. INE, Guatemala. 38 pp.

INAB. (2003). Boletín de Estadísticas Forestales 2,001. Año 4, No. 1. Guatemala. 50 pp.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y Sección de Investigación de Calidad de Agua del

Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. (1976). Calidad del Agua en la cuenca del río María Linda y características fisicoquímicas del agua de mar. Guatemala, Guatemala. 159 pp

MAGA. (2001). Unidad de políticas e Información Estratégica. Programa de Emergencia por desastres naturales 2001.

Manahan, S. (1884). Environmental Chemistry. 6 Ed. Lewis Publishers, Florida. 811 pp.

Martínez, A.E., Martínez, P. (1997). Determinación de Huevos de Helminthos en las Operaciones Unitarias de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec. Chapultepec, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. 6 pp.

Mora, C. Y V. González. (1988). Control de la calidad del agua del Canal de Chiquimulilla como un cuerpo receptor y señalamiento de las principales fuentes de contaminación. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 48 pp.

Oliva, B. (2001). Caracterización fisicoquímica y Bacteriológica de las aguas del río Las Vacas. Guatemala, Guatemala; Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Universidad de San Carlos de Guatemala. 142 pp.

OMS. (1988). Guías para la Calidad del Agua Potable. Organización Mundial de la Salud, Washington. 132pp.

OMS. (1995). Guías para la Calidad del Agua Potable. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. 195pp.

Organización de las Naciones Unidas. (2001). Informe de Desarrollo Humano. Guatemala: El Financiamiento del Desarrollo Humano. 234 pp.

Payne, A.I. (1986). The Ecology of Tropical Lakes and Rivers. John Wiley & Sons (editor) Great Britain. pp.260

Plafkin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Porter, S.K. Gross, and R.M. Hughes. (1989). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers, USEPA, Office of Water Regulations and Standards. EPA/444/4-89/001.

Ramírez, J.J. (2000). Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín Colombia, 207pp..

Reglamento de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas. (1989). Acuerdo Gubernativo No. 60-89. Guatemala.

Rezende, C.E. (1993). "Origen, Transporte e Destino da Matéria Orgânica na interface fluvio-marinha, sob diferentes condicoes de uso do solo e sua relacao comoo trânsito de poluentes metálicos na baía de Sepetiva- RJ". Tese de Doutorado, Instituto de Biofísica, UFRJ. Brasil.

Vila, I. (2003). Caracterización de ecosistemas acuáticos. Interacciones sedimento- agua. En: Jornadas Iberoamericanas, Enfoques integrados de la problemática del agua. (2., 2003, Cartagena de Indias, Colombia). Ed. por Alicia Fernández. Cartagena de Indias, Colombia, Print and Service. 17-23 pp.

Wetzel, R.G. (1975). Limnology. W.B. Saunders Company. United States. 743 pp.

Willard, H. et al. (1988) Métodos Instrumentales de Análisis. Editorial Iberoamericana, México. 879 pp.

Zakrzewski, S. (1991). Principles of Environmental Toxicology. ACS, Washington. 270 pp.

B. Bibliografía:

Barrios, R., et. al. (1995). 50 Areas de Interés Especial para la Conservación en Guatemala. Centro de Datos para la Conservación del Centro de Estudios Conservacionistas, con la colaboración de The Nature Conservancy. Guatemala. 171pp.

Hootsmans, M., T. Minns, E. van Stevbeninck, J. Vermaat. (1997) Fieldwork Limburg. A chemical, biological and hydrological study. Lecture Notes. IHE Delft, Netherlands. p.12.

Horne, A.J. (1994). Limnology. 2nd. Ed. McGraw Hill. California. 576 pp.

Hurst, C., G.E. Knudsen, M.J. Mc Inerney, L. D. Stetzenbach y M.V. Walter. (1997). Manual of Environmental Microbiology. American Society for Microbiology, Washington D.C. 894pp.

Hutchinson, G.E. (1967). A Treatise on Limnology. Vol. II. Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. John Wiley & Sons, New York, 1115 pp.

Roldán Pérez, G. (1992). Fundamentos de Limnología Neotropical. Ed. Universidad de Antioquia, Colombia. 509 pp.

9. Anexos



Fotografía 1. Presencia de ninfas o helechos de agua (*eichornia crassipes*) en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.