



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO
UNIDAD DE CIENCIAS DE DESARROLLO REGIONAL
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LA LAGUNA DE TRES PALOS,
MUNICIPIO DE ACAPULCO DE JUÁREZ, GUERRERO, UNA CONSECUENCIA DEL
DESARROLLO HABITACIONAL E INDUSTRIAL DESORDENADO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

FERNANDO ORTIZ MALDONADO

DIRECTOR DE TESIS

DR. JUSTINIANO GONZÁLEZ GONZÁLEZ

COMITÉ TUTORIAL

DRA. GLORIA TORRES ESPINO

DR. JUAN VILLAGÓMEZ MÉNDEZ

DR. AGUSTÍN ROJAS HERRERA

DR. JUAN VIOLANTE GONZÁLEZ

DR. NAÚ SILVERIO NIÑO GUTIÉRREZ

Acapulco, Gro., México.

Enero de 2014



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ABREVIATURAS	vi
RESUMEN	vii
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento y Delimitación del Problema	
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	
1.2.2 Objetivos Específicos	
1.3 Justificación	5
1.4 Área de Estudio	
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	6
2.1 Aspectos Generales de la Laguna de Tres Palos	6
2.2 Calidad del Agua en Lagos y Embalses	16
2.3 Importancia de las Mediciones Cuantitativas en la Práctica de la Ingeniería Ambiental.	29
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	31
3.1 Fundamentos de las Determinaciones Analíticas	32
A. Parámetros de Campo	32
B. Parámetros de Laboratorio	37
3.2 Métodos Estándar de Análisis	43
3.3 Plan de Muestreo	43
3.4 Análisis Estadístico	44
3.5 Índice de Calidad del Agua en L3P	45
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1 Parámetros de Campo	48
4.2 Parámetros de Laboratorio	59
4.3 Índice de Calidad del Agua de L3P	72
4.4 Interpretación Estadística de los Resultados y Discusión	73
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	88

DEDICATORIA

A mis padres Francisco y Soledad, que desde el cielo me siguen orientando, que me guiaron, protegieron, me dieron cariño, amor, apoyo y valor para llegar hasta aquí y que hicieron de mi un hombre de bien.

A mi familia, Lilia, Samy, Fer y Jorgito, por llenarme la energía y ser mi motor constante de motivación

A mis amigos y compañeros, de antes y de ahora, en los estados de Veracruz y de Guerrero, con quienes compartimos buenos, regulares y extraordinarios momentos.

A los estudiantes, que siempre están en busca de respuestas y porque el conocimiento, al igual que el Universo, es cambiante, eterno e infinito.

A la Laguna de Tres Palos, testigo mudo de miles de sueños e inspiración de propios y extraños y que clama por recuperar su salud y esplendor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por protegerme en todos los momentos de mi vida, y por permitirme llegar a esta meta e iniciar otra, antes de llamarme a Su lado.

A mi Comité Tutorial: Dr. Juan Villagómez Méndez, Dra. Gloria Torres Espino, Dr. Agustín Rojas Herrera, Dr. Naú Silverio Niño Gutiérrez y Dr. Juan Violante González por sus observaciones, correcciones y acotamientos en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A mi Director de Tesis, Dr. Justiniano González González, por su apoyo y compromiso para realizar las gestiones necesarias para dotar de infraestructura el Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR y por tener la apertura para caminar juntos en la consecución de metas para el impulso de los proyectos de investigación en las áreas de Desarrollo Regional y Ciencias Ambientales.

Al Ingeniero Enrique J. Flores Munguía por su experiencia y disposición en el acompañamiento y culminación del presente proyecto.

A todos los Doctores, Doctoras y Catedráticos de la UCDR y del Instituto Tecnológico de Acapulco, que contribuyeron en mi formación como profesional de la Investigación.

A las autoridades del Instituto Tecnológico de Acapulco y de la DGEST, por el Otorgamiento de la Licencia por Beca-Comisión a Servidores Públicos para la Obtención de Grado durante 2012 y 2013.

Mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron con su tiempo, asesorías y motivación para la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Laguna Tres Palos. Descripción Geográfica	6
Figura 2.	Microcuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos	15
Figura 3.	Densidad del agua	20
Figura 4.	Estratificación térmica de un lago	21
Figura 5.	Curva de Oxígeno Disuelto	23
Figura 6.	Amortiguación del bicarbonato	26
Figura 7.	Histograma de frecuencia del estado de los peces	27
Figura 8.	Localización de las zonas de estudio	44
Figura 9.	Determinación de Oxígeno Disuelto en campo	46
Figura 10.	Muestreo de campo zona Norte	46
Figura 11.	Muestreo de campo zona Oeste	46
Figura 12.	Recolección de muestra zona Sur	46
Figura 13.	Muestreo de campo canal meándrico, zona Este	47
Figura 14.	Gráfica de Temperatura	48
Figura 15.	Gráfica de pH en las 4 zonas de L3P, Ene-Dic de 2011	49
Figura 16.	Gráfica de Conductividad Eléctrica	51
Figura 17.	Gráfica de Salinidad en las 4 zonas de L3P	53
Figura 18.	Gráfica de Materia Flotante en las 4 zonas de L3P	54
Figura 19.	Gráfica de Oxígeno Disuelto	55
Figura 20.	Diagrama de Cajas Comparativo de Oxígeno Disuelto en las 4 zonas de L3P.	56
Figura 21.	Gráfica de Cloro Residual	58

Figura 22.	Gráfica de Sólidos Disueltos Totales	59
Figura 23.	Gráfica de Demanda Bioquímica de Oxígeno	60
Figura 24.	Relación entre OD y DBO ₅ en las 4 zonas de L3P	62
Figura 25.	Diagrama de Cajas Comparativo, de Demanda Bioquímica de Oxígeno, en las 4 zonas de muestreo de L3P.	63
Figura 26.	Gráfica de Nitritos, en las 4 zonas de L3P	64
Figura 27.	Gráfica de Nitratos, en las 4 zonas de L3P	66
Figura 28.	Diagrama de cajas Comparativo de Nitratos, en las 4 zonas de L3P. Período Enero-Diciembre de 2011.	67
Figura 29.	Gráfica de Sulfatos, en las 4 zonas de L3P.	68
Figura 30.	Gráfica de Sulfuros, en las 4 zonas de L3P.	70
Figura 31.	Diagrama de Cajas para el Índice de Calidad del Agua	72
Figura 32.	Análisis Estadístico de Componentes Principales en las 4 zonas de L3P.	73
Figura 33.	Coeficiente de Correlación entre el Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno, en las 4 Zonas de L3P.	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Zonas de Estudio en la Laguna de Tres Palos (L3P)	5
Tabla 2.	Estudios sobre la Laguna de Tres Palos	9
Tabla 3.	Agrupación de las zonas de Estudio en la laguna L3P	43

ABREVIATURAS

APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
°C	Grados Centígrados
CAPAMA	Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de Acapulco
CAPASEG	Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Guerrero
CE	Conductividad Eléctrica
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EDTA	Ácido Etiléndiaminotetraacético
EMA	Entidad Mexicana de Acreditación
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. United States Environmental Protection Agency
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
IMNC	Instituto Mexicano de Normalización y Certificación
K	Grados Kelvin
L3P	Laguna de Tres Palos
MO	Materia Orgánica
N	Nitrógeno
NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
O	Oxígeno
OD	Oxígeno Disuelto
ONG	Organización no Gubernamental
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RLS	Río La Sabana
RLS-L3P	Río La Sabana-Laguna de Tres Palos
SSA	Secretaría de Salubridad y Asistencia
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
UAG	Universidad Autónoma de Guerrero
UCDR	Unidad Académica de Ciencias de Desarrollo Regional
UHVIG 2000	Unidad Habitacional Vicente Guerrero 2000
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
µS/cm	microSiemens por centímetro, unidades de CE
cm	Centímetro
hr	Hora
mm	Milímetro
mg/L	Miligramos por litro
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón

RESUMEN

Fueron determinados diversos parámetros físico-químicos en agua de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, por un período de 12 meses, durante el año 2011. El objetivo fue conocer el grado y tipos de contaminación, para elaborar una propuesta que ayude a mitigar el impacto ambiental generado por las industrias y desarrollos habitacionales en las zonas circundantes a este cuerpo lagunar.

En las últimas tres décadas, la Laguna de Tres Palos ha sufrido cambios significativos en su ecosistema debido a los crecimientos urbanos e industriales. Estos cambios se pueden detectar por diversos métodos con la finalidad de conocer a fondo la problemática de la laguna de Tres Palos.

Este trabajo consiste en desarrollar e implementar un grupo de métodos y técnicas mediante la caracterización analítica fisicoquímica que tenga como resultado un diagnóstico técnico-científico que sirva como soporte para la construcción de diseños y planificación de nuevos asentamientos y desarrollos industriales más controlados con la finalidad de mantener viva y productiva la zona de influencia de la Laguna de Tres Palos de una manera sustentable, de acuerdo con las políticas actuales del desarrollo socioeconómico.

Los métodos analíticos que se utilizaron en esta investigación, se tomaron de los criterios bibliográficos y de las Normas Oficiales Mexicanas que indican los límites máximos permisibles que se pueden descargar en lagos y ríos.

En los últimos tiempos, la conciencia de protección sobre el recurso acuífero, se ha ido incrementando y al mismo tiempo ha entrado en vigencia una nueva forma de enfrentar su problemática.

El manejo del agua debe combinar el desarrollo social y económico con la protección de los ecosistemas. Para que el manejo sea efectivo debe de tomar

como unidad de gestión a la cuenca hidrográfica y además involucrar participativamente a diversos actores sociales y gubernamentales. (Los retos de desarrollo en Acapulco, UCDR, UAG, 2009)

Evaluar y cuantificar las repercusiones del Desarrollo Habitacional e Industrial Desordenado y el uso de la tierra en la calidad del agua de la Laguna de Tres Palos, exige un análisis completo de la situación y entender mejor los procesos físicos en cuestión.

Palabras clave: parámetros físico-químicos, impacto ambiental, indicadores de contaminación.

ABSTRACT

There were determined different physico-chemical parameters in water of Tres Palos Lagoon, Guerrero, for a period of 12 months in 2011. The objective was to determine the extent and types of contamination, to develop a proposal to help mitigate the environmental impact generated by industries and housing and tourist developments in the areas surrounding the lagoon body.

In the past three decades, the Laguna de Tres Palos has undergone significant changes in the ecosystem due to urban and industrial growth. These changes can be detected by various methods in order to know thoroughly the problem of Tres Palos Lagoon.

This work is to develop and implement a set of methods and techniques controlled by the physicochemical and microbiological analytical characterization that results in a technical - scientific diagnosis that serves as a support for building design and planning of new settlements and industrial developments with order to maintain the area of influence of the Tres Palos Lagoon in a sustainable manner , in accordance with the current policies of economic development and productive lives .

The analytical methods used in this research were taken from the bibliographic criteria and the Mexican Official Standards indicating the maximum permissible limits that can be downloaded on lakes and rivers.

In recent times, the awareness on the aquifer resource protection, has increased and simultaneously entered into force a new way to address their problems.

Water management must combine the social and economic development with the protection of ecosystems. To be effective, management must take as a unit of watershed management and participatory further inclusion of various social and governmental actors.

Assess and quantify the impact of the Housing Development and Industrial Messy and land use in the water quality of Laguna de Tres Palos, requires a thorough analysis of the situation and better understand the physical processes involved.

Keywords: physicochemical parameters, environmental impact, pollution indicators.



CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Los estudios relacionados con la laguna de Tres palos son abundantes. No obstante, la diversidad de sus objetivos, que han cubierto aspectos biológicos, pesqueros, ecológicos, y de contaminación antropogénica, no se han abordado, sistemática y metodológicamente, las variables analíticas cualitativas y cuantitativas que permitan conocer de manera general el fenómeno ambiental y de autodepuración de este cuerpo lagunar, y su impacto sobre los diversos ciclos naturales del ecosistema.

Los efectos de la contaminación que experimenta la laguna de Tres palos han sido planteados por el sector pesquero, e incluyen problemas de salud, escasez de los productos pesqueros y presión económica sobre las comunidades pesqueras aledañas a la laguna.

Aunado a esto, el crecimiento progresivo de los núcleos poblacionales, el aumento de la densidad, sin la debida planificación ni estudios de impacto ambiental, son las causas principales de la aportación desmedida que contamina las aguas subterráneas, los ríos, lagos y mares, destruyendo la fauna y flora, rompiendo el equilibrio del ecosistema, así como la armonía entre el hombre y su medio.

México vive una degradación continua y significativa en sus cuencas hidrográficas y ello se ha traducido en el municipio de Acapulco en pérdida y degradación del suelo, así como el mal uso del agua y su contaminación por desechos industriales y domésticos, pérdida masiva de cubierta vegetal, etc. (Villanueva, 2005). Salgado, 2005, afirma que el primer plano regulador de Acapulco fue hecho en México a propuesta de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas en el

año de 1931, considerándose el mismo como un proyecto de desarrollo urbano llevado a cabo por equipos interdisciplinarios y a cargo de la dirección de arquitectos urbanistas de dicha Secretaría y a partir de este, se siguen elaborando planos reguladores de 1945, 1950, 1960, y en 1970 lo que se llamó Plan Acapulco.

En 1975 se elabora de manera formal y ordenada el Plan Director de Desarrollo Metropolitano de Acapulco, lo que en la actualidad es conocido como el Plan Director Urbano de la Zona Metropolitana; sin embargo es en los años de 1980-82 cuando se realizan acciones básicas concretas en cuanto a los problemas urbanos que existían y basados en un esquema de planeación, a esto es a lo que el actual Plan Director se refiere como Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Acapulco. (Salgado, 2005).

El actual Plan Director Urbano de la Zona Metropolitana de Acapulco de Juárez, fue diseñado como parte del programa de desarrollo urbano para la ciudad de Acapulco y data de 1993; sin embargo, no fueron contempladas en su mayoría diversas posibilidades que han propiciado un crecimiento desordenado entre las cuales sobresalen los establecimientos de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo e inadecuadas para la urbanización.

El crecimiento anárquico de la Ciudad de Acapulco y las carencias de infraestructura y equipamiento como consecuencia de la falta de criterios y normas básicas para ordenar procesos de urbanización, han propiciado la proliferación de asentamientos humanos que poco a poco se han ido convirtiendo en colonias importantes de la periferia del Municipio sobre todo en su parte Este, como es el caso de la colonia el Coloso, y comunidades como Cayaco, Tuncingo, Tres Palos, Llano Largo, Navidad y Miramar, sin embargo, es preocupante que este crecimiento se esté dando en zonas de alto riesgo geohidrológico, así como a costa del deterioro de zonas ecológicamente importantes como es el caso del Veladero (UCDR-UAG, CONAGUA y Protección Civil, 2003-2004).

Estas colonias y comunidades presentan carencias de infraestructura urbana y han permitido una disposición inadecuada de aguas residuales, residuos sólidos, contaminación atmosférica, deforestación y desertificación, etc., incidiendo de manera permanente en procesos de contaminación ambiental y por lo cual no es difícil prever el incremento de los niveles de afectación a los cuerpos de agua naturales cercanos a las mismas como es el río La Sabana, Lagunas Negra y de Tres Palos, propiciando además la pérdida de hábitat nativos importantes y la consecuente pérdida o sustitución de la vegetación y fauna regional (UCDR-UAG, CONAGUA y Protección Civil, 2003-2004).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los influentes que recibe la Laguna de Tres Palos, para determinar su impacto ecológico, mediante un análisis cualitativo y cuantitativo de los diversos parámetros indicadores de contaminación así como conocer el grado y tipos de contaminación para elaborar una propuesta que ayude a reducir el impacto ambiental generado por las industrias, empresas y desarrollos habitacionales y turísticos en las zonas circundantes a este cuerpo lagunar.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Cuantificar los indicadores de contaminación generados por las actividades Antropogénicas en la zona de estudio.
2. Analizar estadísticamente los datos obtenidos en los estudios analíticos de campo y de laboratorio.
3. Proponer Índices de Calidad Global del agua para la Laguna de Tres Palos.
4. En función del análisis y discusión de los resultados obtenidos en la investigación recomendar acciones de saneamiento integral para la disminución de la contaminación en la Laguna de Tres Palos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Con los resultados de los estudios obtenidos, podrán establecerse los siguientes criterios:

1. La definición de los indicadores básicos de la contaminación en la laguna de Tres Palos.
2. Establecimiento de un programa de monitoreo permanente de la laguna, regulado y vigilado, por diferentes instancias, por ejemplo los comités de cuencas, la PROFEPA, SEMARNAT, CONAGUA, Instituciones Académicas, sector Privado y la Sociedad.
3. Los organismos competentes en la materia deberán regular a los generadores de descargas residuales domésticas e industriales mediante títulos de concesiones, los límites máximos permisibles, según sus condiciones de descarga a través de construcciones de estaciones de depuración (plantas de tratamiento).
4. El organismo operador municipal (CAPAMA), cuando el caso lo amerite, deberá regular a las empresas que descarguen sus residuos al sistema de alcantarillado, y que sean potencialmente perjudiciales para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, provocando alteraciones en los efluentes tratados (NOM-002-SEMARNAT-1997).

1.4 ÁREA DE ESTUDIO

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

Se agruparon las diferentes estaciones de estudio, en la Laguna de Tres Palos (L3P), en cuatro zonas: Norte, Oeste, Sur y Este, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 1. Zonas de Estudio en la Laguna de Tres Palos (L3P)

NORTE	OESTE	SUR	ESTE
SAN PEDRO LAS PLAYAS	TRES PALOS	UNIDAD HAB. V.GRO. 2000	BARRA VIEJA
LA ESTACIÓN	LA POZA	VIVERISTAS	PLAN DE LOS AMATES
INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA LAGUNA DE TRES PALOS

La laguna de Tres Palos se encuentra ubicada en la llamada Costa Chica del estado de Guerrero, a 25 km al este del puerto de Acapulco. Se localiza entre los $99^{\circ}38''$ y $99^{\circ}47''$ de Longitud Oeste, y a los $16^{\circ}43''$ y $16^{\circ}48''$ de Latitud Norte.

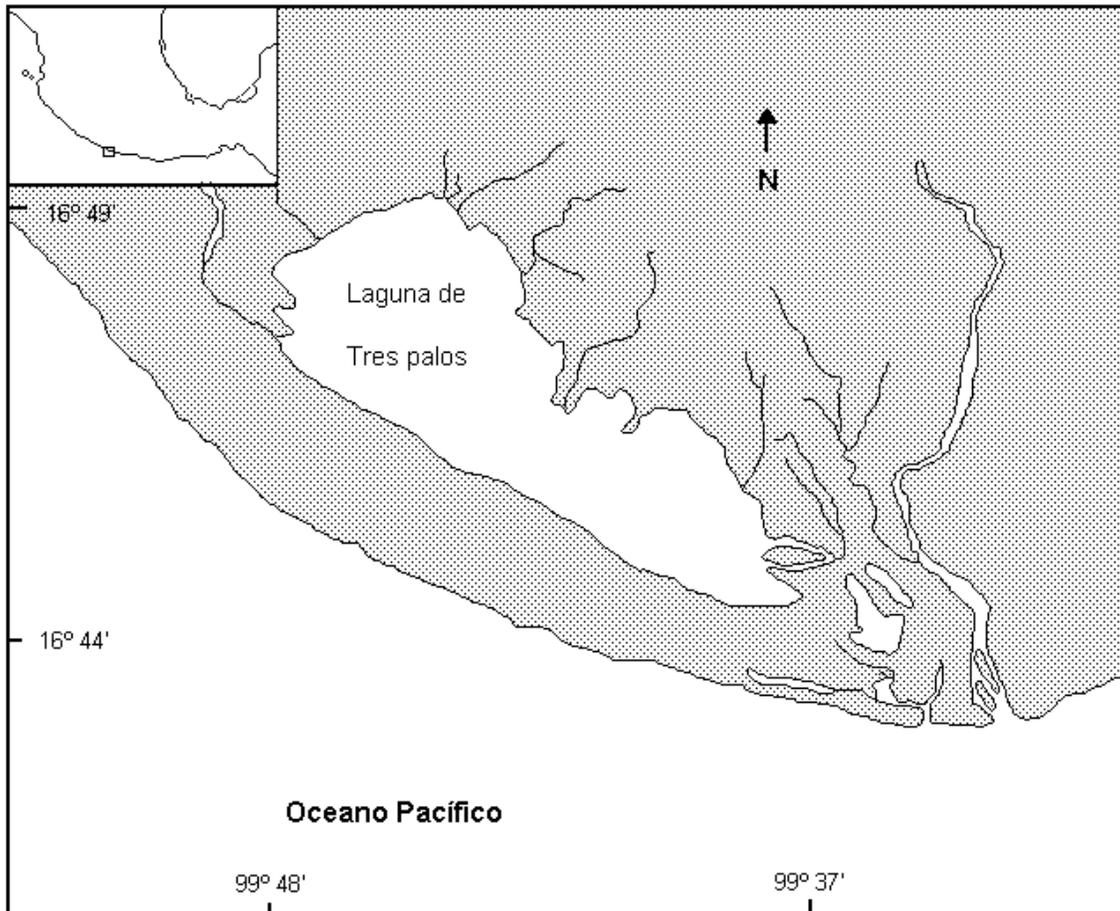


Figura 1. Laguna de Tres Palos. Descripción Geográfica

Estado: Guerrero **Nombre:** Tres Palos **Localización:** En los $16^{\circ} 47'$ y $16^{\circ} 49'$ de latitud norte y los $99^{\circ} 39'$ y $99^{\circ} 47'$ de longitud oeste. **Extensión:** 6,100 Ha **Origen:** Tipo III. *Plataforma de barrera interna.* **Clima:** Aw1 (w) iw".

FUENTE: FLORES M., R., A. LEMOS P., A. GUERRERO C. y R. GUTIERREZ C., 1978.

Depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental, al que rodean superficies terrígenas en sus márgenes internos y al que protegen del mar barreras arenosas producidas por corrientes y olas. La antigüedad de la formación de la barrera data del establecimiento del nivel del agua actual, dentro de los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación paralelos a la costa. Batimétricamente son típicamente muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos; se localiza sedimentación terrígena. Laguna costera típica para muchos autores, aparece a lo largo de planicies costeras de bajo relieve con energía de intermedia a alta. (Lankford, 1977). **A. Barrera de Gilbert Beaumont.** Barreras arenosas externas, ocasionalmente múltiples; escurrimiento ausente o muy localizado; forma y batimetría modificadas por la acción de las mareas, oleajes tormentosos, arena traída por viento y presencia de corrientes locales que tienden a segmentar las lagunas; energía relativamente baja, excepto en los canales y durante condiciones de tormenta; salinidad variable, según las zonas climáticas (Lankford, 1977).

En el extremo NE desemboca el río de La Sabana, que nace en el cerro de san Nicolás, en la Sierra Madre del Sur; la altitud del origen es de mil 600 msnm. Tiene un desarrollo aproximado de 57 km hasta la laguna de Tres Palos, en donde desemboca.

El área drenada es de 432 km, aproximadamente (SRH, 1971). Sus dimensiones son de 16 km de longitud máxima y de 6 km en su anchura mayor, abarcando una superficie aproximada de 55 km² (5500 ha). Esta laguna se comunica al mar por medio de un canal sinuoso de aproximadamente 12 km de longitud, el cual principia en la porción oriente de la laguna y termina en el poblado de Barra Vieja (Gil, 1991).

Las principales comunidades ribereñas con actividad pesquera son: Barra Vieja, Lomas de Chapultepec, La Estación, El Quemado, Punta de Casa, El Arenal, San Pedro las Playas, Tres Palos, La Poza y Plan de Los Amates.

La Laguna de Tres palos es predominantemente oligohalina la mayor parte del año, con influencia marina en época de avenida, cuando se abren comunicaciones con el mar (Yáñez, 1978)

El canal de Barra Vieja tiene un comportamiento estuarino hasta conectarse con la laguna; en éste influye el tiempo de duración de la comunicación con el mar (Gil, 2000)

Según la clasificación climática de Köpplén, modificada por García (1973), se caracteriza como tipo cálido, subhúmedo, con lluvias en verano, con temperaturas promedio mensuales de 27.9°C y precipitación promedio mensual de 1294.9 mm; la precipitación del mes más seco es de 60 mm, y la lluvia invernal menor de 5 mm. El régimen pluviométrico que caracteriza a esta zona pertenece al de sabana, con lluvias de verano. Presenta una isoterma con diferencia de temperatura entre el mes más frío y el mes más caliente menor de 5 °C.

La vegetación que bordea los márgenes de la laguna y el canal, está representada principalmente por dos formaciones: la *graminoidetum*, integrada principalmente por carrizos y tules y *lignetum perennifolium*, representado por manglares. Se han detectado también tipos de vegetación como: bosque tropical caducifolio, bosque espinoso, vegetación halófila, vegetación acuática, y subacuática, vegetación arvense y ruderal (Diego y Lozada, 1994)

Existen estudios técnico-científicos sobre aspectos hidrológicos, biológicos, microbiológicos, acuícolas y de contaminación, donde se reportan valores de algunos parámetros bióticos como Densidad, Biomasa, Clasificación de peces, de

la Laguna de Tres Palos realizados desde los años setenta a la fecha, algunos de estos trabajos se describen en la tabla 2:

TABLA 2. ESTUDIOS SOBRE LA LAGUNA DE TRES PALOS

AUTOR	NOMBRE DEL ESTUDIO	DESCRIPCIÓN
BARRERA H., R. R., 1975	Contribución al conocimiento del plancton de la laguna de Tres Palos, Gro. Tesis de licenciatura. E.N.C.B. I.P.N. 69 p.	Durante el mes de septiembre de 1971 el personal del laboratorio en Ecología Marina colectó 35 muestras de plancton procedentes de 16 estaciones. Los muestreos se realizaron a diferentes niveles, filtrando 1.8 l a través de una red de plancton del no. 14, obteniendo un volumen final de 150 ml. Las muestras fueron estudiadas en el laboratorio analizando siempre una fracción de 0.1 ml. Con los resultados obtenidos se elaboraron cuadros de los organismos encontrados, en dos listas, los pertenecientes al fitoplancton y al zooplancton, haciendo una relación de células por m y el porcentaje para cada estación. Paralelamente al muestreo de plancton se analizaron factores ambientales cuyos datos se presentan en las tablas 1 y 2, lo que permite hacer una correlación entre las comunidades y estos factores y verificar el desarrollo de la gran abundancia de cianofíceas.
SEVILLA M., L., E. A. CHAVEZ, R. RAMIREZ G. y HIDALGO, 1980.	Prospección ecológica de la laguna de Tres Palos, Guerrero. An. Esc. Nal. Cienc. Biol. Méx. 22: 149-164.	Se efectuó el registro de factores físicos y químicos ambientales, así como el estudio de las comunidades bióticas en la laguna de Tres Palos, Gro., durante la primera quincena del mes de septiembre de 1971. Como resultado de los estudios preliminares realizados se deduce que: a) La laguna de Tres Palos es un depósito somero tropical, ya que las variaciones térmicas registradas están comprendidas entre 28 y 31°C durante las horas de mayor insolación. b) No presenta estratificación térmica ni en su concentración de oxígeno disuelto en el agua. La temperatura presenta un ligero descenso o es homogénea desde la superficie hasta el fondo, lo que puede ser indicio de mezcla del agua como resultado del efecto del viento. c) Por el tipo de comunidades planctónicas y bentónicas constituyen la base de la pirámide alimenticia de los organismos que soportan la explotación comercial en dicho lugar.
YAÑEZ-ARANCIBIA, A., 1981.	The occurrence, diversity, and abundance of fishes in two tropical coastal lagoons with ephemeral inlets on the pacific coast of Mexico. <i>Proc. Sem. Duke Univ. Lab. Beaufort NC, U.S.A.</i> Aug. 1978, UNESCO-IABO. UNESCO	Los peces se muestrearon durante la mañana de septiembre de 1973 a julio de 1975 durante los mejores meses más representativos de cada período ecológico. Diez colectas en cada estación fueron realizadas: Chautengo 13 estaciones y Tres Palos 9 estaciones para el período 1 (septiembre y octubre de 1973 y 1974), período 2 (mayo de 1974 y 1975), y el período 3 (julio de 1974 y 1975). Todas las colectas fueron dentro de los 2 m de superficie.

	Tech. Pap. Mar. Sci. 33: 233-260.	
HANSEN H., A. M., 1982.	Estudio de la asociación entre el Cu (II) y la materia orgánica disuelta en el agua superficial de tres lagunas costeras. Tesis de maestría. ICM y L. UNAM. 42 p.	Para evaluar la asociación entre el cobre (II) y la materia orgánica disuelta en el agua, se utilizó el método de titulación potenciométrica. Las muestras fueron colectadas en tres lagunas costeras del Estado de Guerrero, Méx. La actividad de ion cúprico fue medida con un electrodo selectivo de cobre. Un modelo desarrollado por Gamble <i>et al.</i> (1980) fue empleado para el cálculo de las constantes de la formación de complejos entre el ion cúprico y los ligandos orgánicos en disolución. Se encontraron concentraciones altas de ligandos orgánicos disueltos de los cuales una pequeña cantidad forma complejos muy fuertes con el cobre. La presencia natural de ligandos puede ser responsable de la disponibilidad de algunos micronutrientes y de la inactivación de metales pesados tóxicos en las lagunas estudiadas.
GUZMAN A., M., 1987.	Biología, ecología y pesca del langostino <i>Macrobrachium tenellum</i> (Smith, 1871), en lagunas costeras del estado de Guerrero, México. Tesis doctoral. UNAM.	El langostino <i>Macrobrachium tenellum</i> (Smith 1871) fue estudiado de 1975 a 1981 en 4 lagunas del sistema lagunar costero de Guerrero: en las lagunas de Mitla, Coyuca, Tres Palos y Chautengo. Se realizaron 48 salidas de campo, cubriendo un total de 60 estaciones de muestreo. Se realizaron 1,386 determinaciones para cada uno de los parámetros ambientales básicos: transparencia, temperatura del agua, oxígeno disuelto, salinidad y pH, en tres niveles promedio de profundidad, con un total aproximado de 8,316 valores. Se desarrollaron y/o emplearon 22 programas de cómputo.
RUIZ S., H., 1988.	Estudio de la edad y crecimiento del langostino <i>Macrobrachium tenellum</i> (Smith, 1871). Tesis de maestría. UNAM. 78 p.	Se aborda el estudio de la edad y crecimiento del langostino <i>Macrobrachium tenellum</i> (Smith, 1871) en la laguna de Tres Palos, Gro., mediante muestras de composición de tallas, colectadas durante los meses de enero a noviembre de 1981. Se establecieron 16 estaciones de muestreo en la laguna capturándose los organismos con una red de arrastre camaronera de prueba (chango) que cubrió un área de barrido de aproximadamente 509.3 m. Se consideraron los siguientes parámetros medio-ambientales: temperatura ambiente, temperatura del agua, oxígeno, salinidad, pH, todos ellos del fondo, además de la precipitación, profundidad y el nivel medio de la laguna.
YOKOKAMA K., A. M., 1992.	Algunos aspectos poblacionales de <i>Lile stolifera</i> Jordan y Culver, 1895 (Clupeidae) de la laguna de Tres Palos, Municipio de Acapulco, Guerrero, Período 1989-1990. Res. III Congr. Nal. Ictiol. 69.	De acuerdo con los datos obtenidos de la Oficina de Pesca de Acapulco, el charal (<i>Lile stolifera</i>), ocupa aproximadamente el 70% de la producción total de esta Laguna. Asimismo, mediante estos datos, observamos que es a partir de 1982 cuando se incrementa la explotación de esta especie. Considerando lo anterior, a partir de fines de 1989 iniciamos el estudio de esta especie, para lo cual realizamos colectas mensuales capturándose 3,003

		ejemplares, con los cuales se obtuvo su ecuación de crecimiento en longitud: $LT = 104.7025 [1-e]$, y otros parámetros poblacionales. Basado en lo anterior se calculó la tasa de Explotación, cuyo valor obtenido fue de 0.2213, lo cual nos indica que esta especie está subexplotada.
VIOLANTE G., J. y A. MENDEZ O., 2002.	Caracterización y estructura de la comunidad de parásitos metazoarios de <i>Dormitator latifrons</i> (popoyote) en dos lagunas costeras del estado de Guerrero, México. Res. VIII Congr. Nal. de Ictiología. Puerto Angel, Oax. Nov. 18-22.	Como parte de un proyecto de investigación, se realizaron muestreos de manera mensual a partir de septiembre del 2001 a junio del 2002, de la especie <i>Dormitator latifrons</i> conocida localmente como "popoyote", en las lagunas costeras de Coyuca y Tres Palos, localizadas en el estado de Guerrero. Se analizaron un total de 301 ejemplares en la primer laguna y 62 en la segunda, la colecta de los peces se llevó a cabo a partir de las capturas comerciales, que se realizan de manera habitual en ambos cuerpos de agua, el examen helmintológico que se aplicó a los hospederos, estuvo basado principalmente en las técnicas convencionales recomendadas para este tipo de estudio. Para la caracterización de las infecciones, se emplearan los parámetros de prevalencia, intensidad de infección y abundancia; la descripción de la comunidad de parásitos en cada laguna se efectuó tanto a nivel de infracomunidad como de componente de comunidad, utilizando los siguientes atributos ecológicos: Dominancia, valor de importancia de la especie, riqueza y distribución de las abundancias proporcionales.
ROJAS HERRERA, AGUSTÍN A. XAVIER CHIAPPA CARRARA, 2002	Hábitos alimenticios del flamenco <i>Lutjanus guttatus</i> (Pisces: Lutjanidae) en la costa de Guerrero, México Ciencias Marinas, vol. 28, núm. 2 , junio, 2002, pp. 133-147, Universidad Autónoma de Baja California, México	Se analizó el espectro alimentario del flamenco, <i>Lutjanus guttatus</i> , con base en el examen de los contenidos estomacales de 239 individuos recolectados mensualmente en la costa de Guerrero entre febrero de 1993 y enero de 1995. El intervalo de la longitud furcal de los organismos fue de 12 a 55 cm. Los resultados muestran que esta especie se alimenta principalmente de peces pequeños pertenecientes a las familias Engraulidae, Clupeidae y Bregmacerotidae (que significaron el 67.46% del índice de importancia relativa, IIR). En menor proporción se encontraron crustáceos pertenecientes a los taxa Reptantia, Natantia y Stomatopoda (que representaron el 30.94% del IIR). La composición de la dieta varía en relación con la talla, más que con la estación del año y el sexo de los organismos.
ALAYE R., N., R. KLIMEK G., B. ROMERO C. y T. ALMAZAN J., 2003.	Estudio ecológico de la laguna de Tres Palos, Acapulco, Guerrero: 1) Hidroquímica y productividad de la laguna y de su sistema acuático. En: ESPINO B., E., M. A. CARRASCO A., E. G. CABRAL S. y M. PUENTE G. (eds.). Memorias del II	La tarea prioritaria es el saneamiento del río La Sabana por medio de tratamiento secundario y utilización de la biomasa, evitando la introducción de más N y P a la laguna. Según datos de Klimek (1994) existen aproximadamente 1,000 ha azolvadas que ha perdido la laguna, en una región en donde es posible desarrollar una zona chinampera y acuícola importante (inclusive para camarón) en la zona cercana al mar, generando empleos. Por otra parte hay evidencias en las

	<p>Foro Científico de Pesca Ribereña. SAGARPA, INP, CRIP-Manzanillo. Del 20 al 22 de octubre. Ciudad de Colima, Col. 64 p.</p>	<p>aerofotografías de 1974 de la existencia de antiguos canales de comunicación con el río Papagayo, que convenientemente manejados con la obra de control necesaria y el desazolve del canal podrían introducir agua en caso necesario durante las lluvias para lograr la apertura de la barra si hay bajos niveles previos.</p>
<p>ALAYE R., N., L. APARICIO C., M. PASTRANA M., J. ZEFERINO T., C. MELENDEZ G. y C. ROMERO A., 2003.</p>	<p>Estudio ecológico de la laguna de Tres Palos, Acapulco, Guerrero: ii) Diagnóstico general de la pesca y evaluación de las especies comerciales de mayor importancia. En: ESPINO B., E., M. A. CARRASCO A., E. G. CABRAL S. y M. PUENTE G. (eds.). Memorias del II Foro Científico de Pesca Ribereña. SAGARPA, INP, CRIP-Manzanillo. Del 20 al 22 de octubre. Ciudad de Colima, Col. 64 p.</p>	<p>Sobre aspectos socioeconómicos-ecológicos. Como análisis preliminar se desprenden las condiciones de precariedad de las viviendas y condiciones sanitarias de las poblaciones en términos de servicios (origen y calidad del agua y drenajes). En términos de educación es notorio el nivel de rezago de la población (18.6 % de analfabetismo) y de los alfabetizados el 51.2% sólo ha cursado primaria. Encuestados sobre el cambio en volumen o calidad de los recursos pesqueros en los últimos 10 años, el 100% manifiesta que han disminuido y las causas prácticamente la atribuyen a la sobrepesca, demasiados pescadores y tipo de artes que "no deja crecer a los organismos" (59.5%), a la contaminación por desechos arrojados al río La Sabana (38%) y no saben la causa (2.4 %).</p>
<p>JAVIER ALCOCER DURAND, SALVADOR HERNÁNDEZ PULIDO, GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO, JOSÉ LUIS MORENO RUIZ, 2008</p>	<p>Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México. Hidrobiológica: [revista del Departamento de Hidrobiología] (Impact Factor: 0.3). 01/2008; 18(1):21-30.</p>	<p>Una evaluación de los principales parámetros físico-químicos y biológicos se llevó a cabo en la laguna costera de Tres Palos en el 2003, el objetivo del estudio fue evaluar la calidad ambiental y el estado trófico de la laguna y comparar estos resultados con los datos obtenidos en 1971. La salinidad, temperatura y oxígeno disuelto se mantuvieron similares: oligohalinas (2-4 ups), templada (28-31°C), con sobresaturación de oxígeno disuelto en la superficie y estados de hipoxia o anoxia en el fondo. Sin embargo, otras características cambiaron considerablemente. En 1971 la laguna costera era eutrófica con altas densidades de fitoplancton (8×10^3 células/mL) y las floraciones de cianofitas (es decir, Myrocystis, Anabaena, espirulina). Treinta y dos años más tarde, el estado trófico de la laguna costera de Tres Palos evolucionó a hipereutrofia.</p>

Los lagos, embalses y lagunas son corrientes tranquilas comparadas con las de los ríos, pero existe movimiento, aún dentro de estos reservorios de agua. El agua entra por corrientes que afluyen y por manantiales y acuíferos subterráneos, directamente por la lluvia, y salen mediante la descarga. El balance entre la entrada y la pérdida del líquido en un cuerpo de agua, indica que el agua tiene un tiempo de residencia hidráulico. Un factor importante en los procesos de mezcla en los lagos es la influencia del viento. Esto sucede porque el agua superficial,

atacada por el viento, se mueve a una velocidad 2-3 % de la del viento, un fenómeno llamado deriva del viento.

El intercambio de especies químicas entre el agua y las capas de aire en contacto con ella, es un proceso importante. Este es el medio mediante el cual el oxígeno atmosférico entra en el agua para proporcionar el oxígeno disuelto (OD) que necesitan los peces y otras especies aerobias. Los contaminantes del aire pueden entrar en el agua desde la atmósfera. En condiciones de alta actividad fotosintética de las algas, el oxígeno producido por éstas se libera al agua y al aire. La degradación de la materia orgánica puede sobresaturar el agua con dióxido de carbono (CO_2), lo que requiere su desprendimiento a la atmósfera. Los contaminantes volátiles del agua se pueden desplazar de ésta hacia la atmósfera.

Los sedimentos son muy importantes en el transporte y destino químico en la hidrósfera. Esto es porque las sustancias, incluso contaminantes como los metales pesados o las sustancias orgánicas hidrófobas, se unen a las partículas mientras caen a través de la columna de agua y se incorporan a los sedimentos.

Aunque los sedimentos normalmente son depósitos de contaminantes y reducen su daño ambiental, también pueden proporcionar fuentes contaminantes que pueden movilizarse por procesos Físicos. Químicos o Bioquímicos.

Las aguas residuales de fuentes domésticas, comerciales, de procesamiento de alimentos e industriales, contienen una amplia variedad de contaminantes, incluyendo contaminantes orgánicos. La disposición o evacuación de aguas residuales tratadas inadecuadamente, puede causar problemas severos.

Los detergentes sintéticos tienen buenas propiedades de limpieza y no forman sales insolubles con los iones de la "dureza" como Ca y Mg. Estos detergentes sintéticos tienen la ventaja adicional de ser sales de ácidos relativamente fuertes y, por consiguiente, no precipitan en las aguas ácidas como ácidos insolubles, una

característica indeseable de los jabones. El potencial de los detergentes para contaminar el agua es alto debido a su uso extensivo en distintos mercados, tanto de consumidores, como en ámbitos institucionales e industriales. (Manahan, 2007).

Dentro de este tipo de contaminación, dependientes de la actividad humana, pueden citarse los fertilizantes y pesticidas. El suelo representa un soporte de contaminantes, cuyo arrastre y eliminación dependen de la intensidad de la lluvia, de las escorrentías, de las partículas del suelo, de la protección de la superficie y de la absorción de las plantas y/o algas. Por otro lado, la contaminación generada, dependerá de los productos químicos utilizados y de las dosificaciones utilizadas (Hernández Muñoz, 1990).

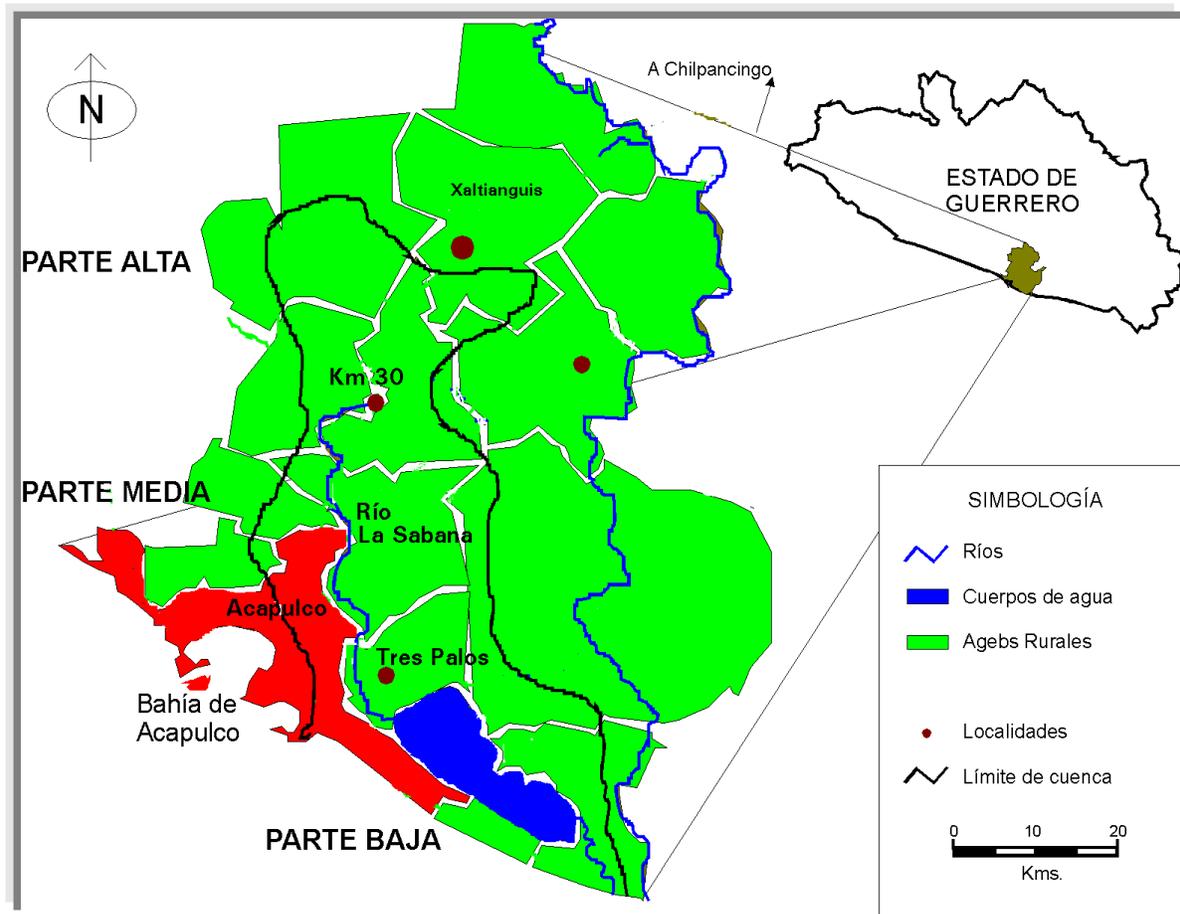


Figura 2. Microcuenca RLS-L3P (Río La Sabana, Laguna de Tres Palos).

Fuente: Plan de Gestión Integral de la Cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos, 2011.

2.2 CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES

Todos los lagos acumulan gradualmente limo y materia orgánica que están sometidos a un proceso de maduración conocido como *eutrofización*. Un lago joven se caracteriza por un contenido bajo en nutrientes y escasa población de plantas. Tales lagos oligotróficos (poco aliento) adquieren gradualmente nutrientes de sus cuencas, lo que los posibilita para aumentar la variedad de vida en sus aguas. Con el paso del tiempo, el aumento de productividad biológica causa que el agua se enturbie de fitoplancton, mientras que la descomposición de la materia orgánica contribuye al consumo de oxígeno disuelto disponible. El lago se vuelve eutrófico (bien alimentado). Cuando los sedimentos y detritos hacen que el lago se vuelva, más somero y cálido, sus orillas se van poblando con más plantas y el lago lentamente se convierte en un pantano o ciénaga.

Mientras que tal eutrofización es un proceso natural que puede requerir miles de años, la actividad humana puede acelerar grandemente la velocidad del cambio. A esto se le llama eutrofización antropogénica. Los colectores municipales de desagües, los residuos industriales y las escorrentías cargadas de fertilizantes agrícolas, añaden nutrientes que estimulan el crecimiento de las algas y degradan la calidad del agua. Las algas mueren y se pudren, lo que origina cúmulos malolientes de detritos en descomposición en las orillas y gruesas capas de materia orgánica muerta en el lago. La descomposición de las algas muertas consume el oxígeno disponible y aparece el mismo tipo de problema que en ríos y escorrentías. Entre las primeras víctimas se encuentran los peces de aguas frías, cuya sensibilidad a la temperatura del agua les fuerza a mantenerse en las zonas más profundas del lago donde hay una menor disponibilidad de oxígeno. En algunos lagos hay periodos en los que aparecen condiciones anaerobias cerca del fondo. Los riesgos para los seres vivos no sólo son debidos a la carencia de oxígeno, sino que también aumenta la toxicidad del agua cuando el ácido sulfhídrico y los metales tales como el hierro y el manganeso, que normalmente están contenidos en los sedimentos, se disuelven y liberan en el agua.

FACTORES DE LA EUTROFIZACIÓN

La velocidad de proliferación de las algas depende de muchos factores, entre los que se incluyen la disponibilidad de luz solar para las reacciones fotosintéticas y la concentración de nutrientes necesaria para su crecimiento.

La cantidad de luz disponible está relacionada con la transparencia de las aguas que, a su vez, es función del nivel de eutrofización. Un lago oligotrófico, puede tener bastante luz solar para permitir significantes tasas fotosintéticas a 100 m de profundidad o más, mientras que lagos eutróficos pueden ser tan turbios que la fotosíntesis esté restringida a una fina capa de agua próxima a la superficie. La capa superior de agua en un lago, donde las plantas producen más oxígeno por la fotosíntesis de lo que consumen por respiración, se llama la *zona eufótica*. Bajo ésta se encuentra la *zona eufótica profunda*. La transición entre ambas se designa como *zona disfótica*. Esta zona alcanza hasta una profundidad a la cual la intensidad luminosa es aproximadamente el 1% de la que existe en la superficie.

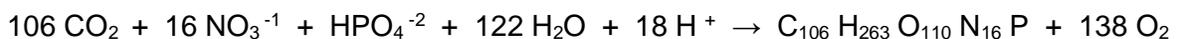
Mientras que la cantidad de luz disponible puede ser un factor limitante en el crecimiento de las algas, no es algo que podamos controlar fácilmente para reducir la eutrofización. El camino más obvio es intentar reducir la cantidad de nutrientes. La lista de nutrientes que se podría controlar, sin embargo, es larga porque incluiría todos los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Esta lista incluye carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio, potasio, sodio, hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y algunos otros más. El problema se simplifica enormemente centrándose en los dos elementos cuya ausencia más a menudo limita el crecimiento de las algas: el fósforo (P) y el nitrógeno (N).

Justus Liebig, en 1840, enunció la idea de que «el crecimiento de una planta viene limitado por el alimento que se le ofrece en cantidad más escasa». Esto ha llegado a conocerse como la *ley del mínimo de Liebig*. En esencia, la ley de Liebig

establece que el crecimiento de las algas estará limitado por el nutriente que se encuentra menos abundante en relación a sus necesidades. Por lo tanto, el medio más rápido de controlar la eutrofización sería identificar el *factor limitante* y reducir su concentración.

La ley de Liebig también implica que las reducciones de factores no limitantes no aportarán ningún control efectivo a menos que su concentración sea reducida al extremo en que se convierta en factor limitante. Así, por ejemplo, el reducir la cantidad de fósforo por eliminación de los fosfatos de los detergentes tendrá escasas consecuencias en las zonas en que el agua superficial contiene escaso nitrógeno. Es el caso de los lagos eutróficos, el género dominante de algas es a menudo el *Cyanophyta*, o algas verdeazuladas, que tienen la característica inusual de ser capaces de obtener el nitrógeno directamente de la atmósfera. Además, el nitrógeno llega al agua desde el aire como «cenizas» de fuentes de combustión, en particular de centrales térmicas. Con la atmósfera suministrando un casi ilimitado aporte de nitrógeno, la mayor parte de los sistemas hidrológicos tienen como factor limitante el fósforo.

Para ayudar a ilustrar las cantidades relativas de nitrógeno y fósforo que se requieren para el crecimiento de las algas, se considera la ecuación de la fotosíntesis:



Usando un análisis estequiométrico simple, y recordando los pesos atómicos de nitrógeno (14) y fósforo (31), la razón de la masa del nitrógeno al fósforo en las algas es:

$$\text{N} / \text{P} = (16 \times 14) / (1 \times 31) = 7.2$$

Esto significa que para producir una masa de algas dada, se necesita alrededor de siete veces más nitrógeno que fósforo. Cuando la concentración (mg/L) de N en

agua es superior a 10 veces la del P, el factor limitante de la masa de agua será probablemente el P. Cuando esta es menor de 10:1, el factor limitante será el N. A diferencia de los sistemas de agua dulce, las aguas marinas tienen una relación N / P menor de 5, y están limitadas por el N,

Sawyer (1947) sugiere que las excesivas concentraciones de fósforo, más de 0.015 mg/L y de nitrógeno, por encima de 0.3 mg/L, son suficientes para causar la proliferación de algas. Estas están en línea con estimaciones más recientes que apuntan a que 0.010 mg/L de P es «aceptable», mientras que 0.020 mg/L es «excesiva» (Vollenweider, 1975).

ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA

Como se ha visto, los nutrientes estimulan el crecimiento de las algas, y su posterior muerte y descomposición pueden conducir al agotamiento del oxígeno. Este problema de agotamiento del oxígeno empeora si se dan ciertas características físicas en los lagos, que se consideraran a continuación.

Como ya se ha mencionado, una de las propiedades menos usuales del agua es que su densidad no aumenta continuamente según cae la temperatura. En lugar de eso se produce un máximo a 4 °C como se muestra en la figura 3. Un resultado de este máximo de densidad es que el hielo flota, puesto que el agua que lo rodea es ligeramente más cálida y más densa. Si el agua fuera como otros líquidos, el hielo se hundiría y los lagos se helarían desde el fondo a la superficie.

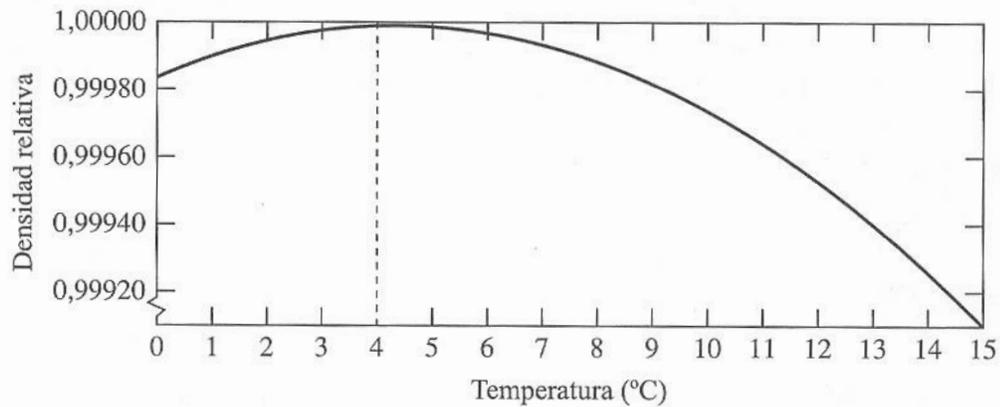


Figura 3. La densidad del agua alcanza un máximo a 4°C.
FUENTE: Masters, Gilbert M., Ela, Wendell P. 2008.

Por encima de los 4 °C la densidad del agua disminuye con la temperatura. Como resultado, un lago calentado por el sol durante el verano tenderá a tener una capa de agua tibia superficial, flotado sobre otra más densa y más fría. Y al revés, en invierno, si la superficie del lago baja de 4 °C creará una capa de agua fría que flota por encima de otra más densa a 4 °C. Estas diferencias de densidad entre el agua superficial y la profunda impiden la mezcla vertical en el lago y originan la formación de capas muy estables, efecto conocido como *estratificación térmica*.

La figura 4 muestra la estratificación típica que ocurre en un lago profundo de la zona templada durante el verano. En la capa superior, conocida como *epilimnion*, el agua cálida está completamente mezclada por la acción del viento y las olas, lo que ocasiona un perfil casi uniforme de temperaturas. El grosor del epilimnion varía de lago a lago y de un mes a otro. En un lago pequeño puede tener en torno a un metro de profundidad, mientras que en uno grande puede alcanzar los 20 m o más. Por debajo del epilimnion hay una capa de transición llamada *termoclina* o *metalimnion*, en donde la temperatura de la termoclina al zambullirse en un lago. Bajo ella hay una zona de agua fría llamada *hipolimnion*.

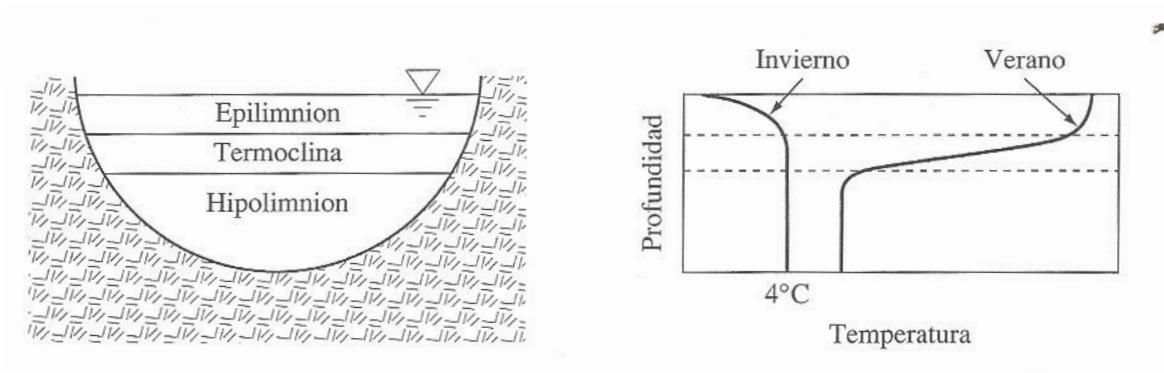


Figura 4. Estratificación térmica de un lago mostrando los perfiles estival e invernal.
FUENTE: Masters, Gilbert M., Ela, Wendell P. 2008.

En términos de mezcla, la estratificación estival crea esencialmente dos lagos separados: un lago cálido (epilimnion) flotando por encima de otro lago frío (hipolimnion). La separación es bastante estable y más aún según progresa el verano. Una vez comenzada, la falta de mezcla entre las capas origina el epilimnion, que absorbe energía solar para calentarse más rápido, con lo que se crea una mayor diferencia de densidad. Esa diferencia se encuentra potenciada en un lago eutrófico puesto que en estos lagos la mayor parte de la energía solar si no toda, se absorbe en el epilimnion.

Según progresa la estación y el invierno se aproxima, la temperatura del epilimnion comienza a descender y la marcada estratificación del verano va desapareciendo. En algún momento del otoño, tal vez durante una tormenta que agite las aguas, es posible que el lago se mezcle completamente. A esto se le llama la *mezcla otoñal*. De modo similar, en los climas suficientemente fríos para que la temperatura superficial baje de los 4 °C, habrá una estratificación invernal, seguida de una *mezcla primaveral* cuando la superficie se calienta hasta permitir u mezclado completo de nuevo.

ESTRATIFICACIÓN Y OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto, uno de los parámetros más importantes para determinar la calidad del agua, se ve muy afectado tanto por la eutrofización como por la estratificación térmica. Consideremos, por ejemplo, dos lagos diferentemente estratificados, uno oligotrófico y el otro eutrófico. En ambos puede esperarse que las aguas del epilimnion sean ricas en OD ya que el oxígeno está fácilmente disponible por aireación y fotosíntesis, pero esta solo ocurrirá si el agua está suficientemente clara para permitir que la zona eutrófica se extienda por debajo de la termoclina. Esto es, el hipolimnion de un lago limpio, oligotrófico, tiene al menos la posibilidad de tener una fuente de oxígeno, mientras que el de un lago turbio, eutrófico, no la tiene.

Además, el lago eutrófico es rico en nutrientes y materia orgánica. Las algas proliferan y mueren súbitamente, dejando restos putrefactos que se depositan en las playas o se hunden hasta el fondo. La lluvia de restos orgánicos que cae al hipolimnion conduce a incrementar la demanda de oxígeno allí. Así, no sólo hay menos oxígeno de por sí, sino que también hay más demanda de éste debido a la descomposición, especialmente si el lago es eutrófico. Una vez se ha establecido la estratificación estival, el OD en el hipolimnion empezará a caer, y hará que los peces salgan de la zona fría del fondo del lago para entrar en el agua superficial más cálida, más rica en oxígeno. Los peces que necesitan agua fría para sobrevivir son los primeros en morir. En el caso extremo, el hipolimnion de un lago eutrófico puede hacerse anaerobio durante el verano, como se muestra en la figura 5.

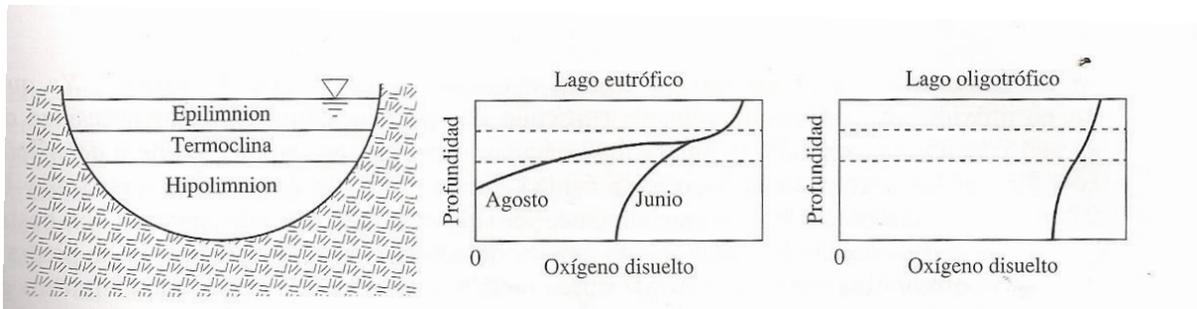


Figura 5. Curvas de Oxígeno Disuelto para lagos oligotróficos y eutróficos durante la estratificación térmica estival.

FUENTE: Masters, Gilbert M., Ela, Wendell P. 2008.

Durante las mezclas otoñales y primaverales, que pueden durar varias semanas, las aguas se mezclan completamente. Los nutrientes del fondo se distribuyen por todo el lago y el epilimnion rico en oxígeno se mezcla con el pobre hipolimnion. El lago, toma un profundo respiro.

En invierno la Demanda de Oxígeno decrece al igual que las tasas metabólicas, mientras que, al mismo tiempo, la capacidad del agua de contenerlo aumenta. Así, incluso aunque pueda existir estratificación invernal, sus efectos tienden a ser menos importantes que los de la estival. Si se forma hielo, sin embargo, la aireación y la fotosíntesis pueden dejar de aportar oxígeno y los peces morir.

Los lagos tropicales pueden mantenerse estratificados indefinidamente puesto que no están sometidos a la variación estacional que permite las mezclas. Cuando se produce la eutrofización de un lago tropical, el hipolimnion se vuelve anaerobio y tiende a quedar en ese estado. La descomposición en el hipolimnion produce gases tales como el ácido sulfhídrico (H_2S), metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), que tienden a permanecer disueltos en las aguas del fondo, especialmente si el lago es profundo y la presión es alta allí. En los lagos formados en cráteres volcánicos, las sugerencias subterráneas de aguas carbónicas pueden contribuir también con CO_2 al hipolimnion. Cuando el fondo del lago se satura con estos gases disueltos, existe el peligro de que, por un accidente, como un terremoto o un deslizamiento de tierras, se forme súbitamente una burbuja de gas peligroso que va a la superficie.

ACIDIFICACIÓN DE LAGOS

Toda lluvia es ácida de forma natural. El agua pura en equilibrio con el dióxido de carbono atmosférico forma una solución débil de ácido carbónico (H_2CO_3) con un pH de alrededor de 5.6. Como resultado, una precipitación con un pH inferior a 5.6 es considerada como "lluvia ácida". No es inusual que en muchos lagos se tenga un pH de entre 4.0 y 5.0, y que en algunos lagos donde hay presencia de nieblas ácidas lo tengan inferior a 3.0. Se cuestiona que tales valores de pH sean causados por emisiones antropogénicas de óxidos de azufre y de nitrógeno formados en la combustión de combustibles fósiles. Algunos óxidos de azufre son realmente partículas que pueden sedimentarse sin necesidad de precipitación, la descripción de "lluvia ácida" sería más descriptiva si dijera *disposición ácida*.

Los efectos de la disposición ácida sobre la tierra, los ecosistemas terrestres y los acuáticos son conocidos sólo parcialmente, pero algunos rasgos sí aparecen con bastante claridad. Los ácidos degradan los materiales de construcción, particularmente la piedra caliza, el mármol (una forma de caliza), varios metales comúnmente usados como el acero galvanizado, y ciertas pinturas. De hecho, el incremento de la velocidad de erosión de la superficie de los edificios y monumentos por la intemperie es uno de los principales indicadores del impacto adverso de la lluvia ácida. Los ecosistemas terrestres, especialmente bosques, parecen experimentar un estrés considerable en respuesta a la deposición ácida, con reducciones en el crecimiento y aumento de la mortalidad en los ecosistemas acuáticos.

AMORTIGUACIÓN DEL BICARBONATO

Los organismos acuáticos son muy sensibles al pH. La mayoría experimenta un estrés considerable cuando el pH cae por debajo de 5.5 y muy pocos son capaces de sobrevivir cuando desciende de 5.0. Además, cuando el pH cae, ciertos minerales tóxicos, como el aluminio, plomo y mercurio, que son normalmente insolubles y que no producen daño, comienzan a disolverse y pueden ser letales para los peces y otros organismos.

Es importante advertir, no obstante, que añadir ácido a una solución puede tener poco efecto para el pH o ninguno en absoluto, dependiendo de si ésta tiene *amortiguadores o buffers*. Los *buffers* son sustancias capaces de neutralizar los iones de hidrógeno añadidos. La amortiguación posible de un ecosistema acuático no es sólo una función de las características químicas del lago en sí mismo, sino también de los suelos circundantes a través de los que permea el agua según viaja desde la tierra hacia el lago. Así, la sola información del pH de la precipitación, sin tener en cuenta las características químicas de la masa de agua receptora y los suelos que la rodean, es un pobre indicador del efecto potencial de la lluvia ácida en los ecosistemas acuáticos.

La mayoría de los lagos se amortiguan con bicarbonato (HCO_3^-) que se relaciona con el ácido carbónico (H_2CO_3) según la siguiente reacción:



Resulta bicarbonato a partir de la disociación del ácido carbónico, y algo proviene de los suelos. Es de importancia considerar qué es lo que sucede cuando en un lago contiene bicarbonato y se añaden iones de hidrógeno (ácido). Como sugiere la reacción anterior, algunos de los iones hidrógeno añadidos reaccionarán con el bicarbonato para formar ácido carbónico. En la medida en que esto ocurre, la adición de iones hidrógeno no se traduce en un incremento proporcional de su

concentración, por lo que el pH sólo variará ligeramente. Es decir, el bicarbonato es un amortiguador o *buffer*.

Cabe hacer mención de que la reacción de los iones de hidrógeno con el bicarbonato elimina bicarbonato de la solución de modo que, a menos que haya una fuente de éste, su concentración disminuirá según se vaya añadiendo ácido. En algún momento, puede quedar tan poco bicarbonato que incluso adiciones relativamente pequeñas de ácido causen rápidas disminuciones del pH. Este fenómeno conduce a una forma de clasificar lagos según su acidificación. Como muestra la figura 6, un lago rico en bicarbonato muestra un pequeño descenso del pH cuando se añaden iones hidrógeno, hasta que éste cae aproximadamente a 6.3. A partir de este punto el amortiguador de bicarbonato se agota rápidamente y el lago entra en una fase de transición. Como se muestra en la figura, los lagos de transición con un pH de entre 5.0 y 6.0 aproximadamente, son muy sensibles a las pequeñas variaciones de ácido. Por debajo de 5.0, los lagos ya no cuentan con amortiguación y son crónicamente ácidos (Wright, 1984).

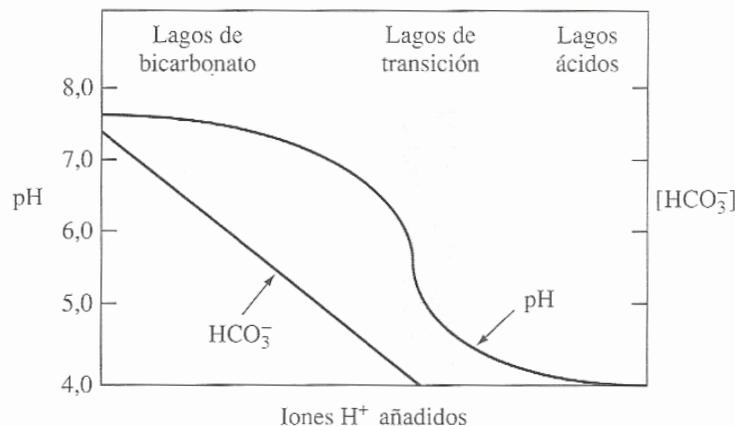


Figura 6. La amortiguación del bicarbonato resiste con fuerza la acidificación hasta que el pH cae por debajo de 6.3. El pH decrece con rapidez a medida que se añaden iones H⁺. (FUENTE: Henriksen, 1980)

Vale la pena insistir en las implicaciones de la figura 5. La precipitación ácida tiene escaso o nulo efecto en el pH de un lago hasta que se agota la amortiguación

natural. Hasta ese momento puede no haber evidencia de daño a la vida acuática y el lago aparecer en perfecto estado. Sin embargo si continúa el aporte de ácido más allá de ese punto, puede resultar una rápida caída del pH de desastrosa consecuencias para el ecosistema.

En un estudio realizado en Noruega, se clasificaron 684 lagos por la química de sus aguas en lagos de bicarbonato, lagos de transición y lagos ácidos, y para cada categoría se hicieron observaciones de las poblaciones de peces (Henriksen, 1980; Wright, 1984). Se escogieron cuatro categorías: estériles (ausencia crónica de reproducción), dispersos (con bajo índice de reproducción), buenos y superpoblados. Los resultados mostrados en la figura 7, muestran claramente la relación inversa entre población y acidificación.

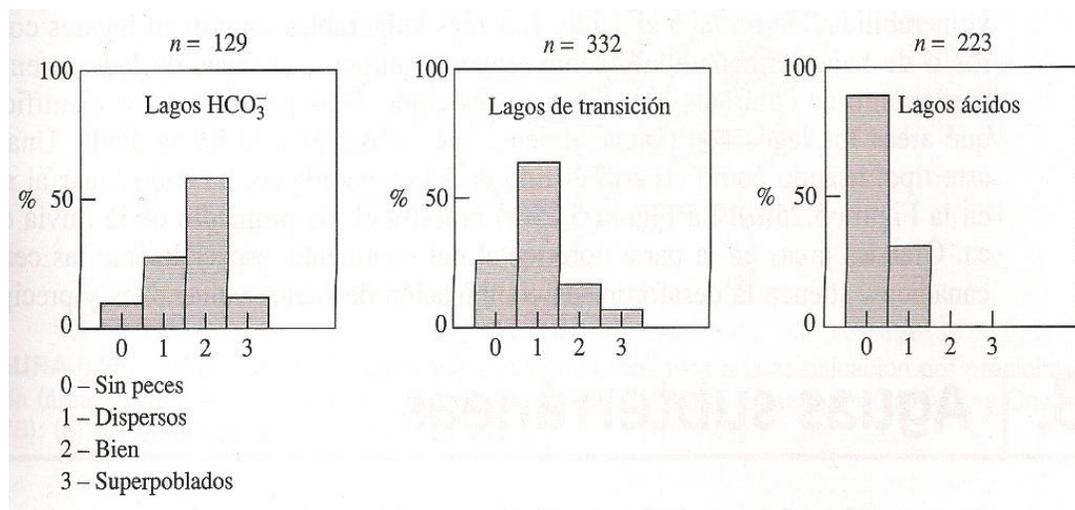


Figura 7. Histograma de frecuencia del estado de los peces de 684 lagos noruegos clasificados como lagos de bicarbonato, de transición y ácidos.
FUENTE: Wright, 1984

IMPORTANCIA DE LA CUENCA.

Si hay una fuente de bicarbonato para reemplazar lo consumido durante la acidificación, entonces la posibilidad de amortiguación puede continuar. Se debe considerar la capacidad de amortiguación de la caliza (CaCO₃):



Como sugieren estas reacciones, la caliza es atacada por los ácidos (iones hidrógeno) para formar bicarbonato, y éste neutraliza los iones hidrógeno para convertirse finalmente en dióxido de carbono. Estas reacciones muestran por qué la caliza es un eficaz amortiguador de la acidificación. También por qué los monumentos y fachadas de edificios de caliza y mármol se deterioran por el ataque de la deposición ácida.

El bicarbonato que se muestra en la ecuación 1 puede rellenar los amortiguadores naturales de bicarbonato del lago. Copiando este fenómeno natural, una forma de mitigar temporalmente los efectos de la acidificación es tratar artificialmente los lagos vulnerables con caliza (CaCO_3). Este método está siendo seguido por un buen número de países afectados por la lluvia ácida, entre los que se incluyen Suecia, Noruega, Canadá, y los Estados Unidos (Shepard, 1986).

La capacidad de los suelos cercanos para amortiguar la deposición ácida es un factor extremadamente importante para determinar si un lago se va a acidificar o no. Los suelos calcáreos, por ejemplo, son capaces de asimilar mejor la deposición ácida que los derivados de rocas graníticas. La profundidad y permeabilidad del suelo son también características importantes. Los suelos finos y relativamente impermeables interaccionan pobremente con la esorrentía, por lo que se reduce su capacidad natural para mitigar la acidez. El tamaño y la forma de la cuenca misma también afecta a la vulnerabilidad del lago. Fuertes pendientes y una cuenca pequeña crean condiciones en las cuales la esorrentía tiene poco tiempo para reaccionar con los amortiguadores del suelo e incrementan la probabilidad de acidificación. Incluso el tipo de vegetación propia de la cuenca puede influir. La lluvia que cae sobre la cubierta arbórea interacciona con las sustancias naturales presentes en los árboles, tales como la savia, y se altera su

pH. La hoja caduca tiende a disminuir la acidez mientras que el goteo de un follaje perenne es más ácido que la lluvia misma.

En otras palabras, a largo plazo, las características de la cuenca misma determinaría la vulnerabilidad de un lago al ácido. Los más vulnerables estarán en lugares con suelos someros o de baja permeabilidad, sobre lechos graníticos, cuencas de laderas empinadas y con predominio de coníferas. Consideraciones como éstas permiten a los científicos predecir en qué áreas los lagos son potencialmente más sensibles a la lluvia ácida.

2.3 IMPORTANCIA DE LAS MEDICIONES CUANTITATIVAS EN LA PRÁCTICA DE LA INGENIERIA AMBIENTAL.

Las mediciones cuantitativas de cualquier clase son la piedra angular de la práctica de la ingeniería. La ingeniería ambiental es quizá la más exigente a este respecto, porque requiere el uso no solo de los aparatos de medición convencionales empleados por los ingenieros sino, además, muchas de las técnicas y métodos utilizados por los químicos, físicos y algunos de los usados por los biólogos.

Cada problema en Ingeniería Ambiental debe ser abordado inicialmente en una forma que lo defina. Este abordaje necesita el uso de métodos y procedimientos analíticos de laboratorio y de campo que se haya probado que dan resultados confiables al ser usados por muchas personas y con gran variedad de materiales. Una vez que el problema ha sido definido cuantitativamente, por lo general el ingeniero se encuentra en posición de diseñar los instrumentos que den una solución satisfactoria.

Después de la construcción de los instrumentos y de su puesta en funcionamiento, usualmente se necesita supervisión constante empleando procedimientos cuantitativos para mantener el desempeño en una forma satisfactoria y económica.

Se requiere llevar un control de los registros que indiquen la precisión, exactitud y reproducibilidad de los métodos analíticos para reportarlos y validarlos ante las dependencias ó agencias acreditadoras y certificadoras nacionales e internacionales.

El aumento en la densidad de la población y los nuevos avances en la industria intensifican los problemas existentes y crean otros. Además los ingenieros siempre están buscando métodos más económicos para resolver los problemas ya planteados. La investigación está en evolución continua para encontrar respuestas a los nuevos problemas y mejores soluciones a los antiguos. El análisis cuantitativo continuará sirviendo como base para tales estudios.



CAPÍTULO III METODOLOGÍA

Se realizó la búsqueda cartográfica y de la información de INEGI de las zonas de mayor población, aledañas a la laguna de Tres palos, para determinar los puntos críticos de contaminación y determinar los planes y zonas de muestreo.

El muestreo se realizó de manera puntual en las zonas seleccionadas de la laguna, para realizar los siguientes parámetros analíticos:

A. Parámetros de campo

- Temperatura, método electrométrico.
- pH, método electrométrico
- Conductividad Eléctrica, método electrométrico
- % de Salinidad, método electrométrico
- Oxígeno Disuelto, (OD) método electrométrico
- Materia Flotante, método físico de separación
- Cloro Residual, método DPD

B. Parámetros de laboratorio

- Sólidos disueltos totales, método electrométrico
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), método Winkler y electrométrico.
- Nitritos, método volumétrico
- Nitratos, método volumétrico
- Sulfatos, método volumétrico
- Sulfuro de Hidrógeno, método bromuro- fenol.

Dichos parámetros son los indicadores básicos de la contaminación, recomendados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la dirección general de normas (DGN), quienes operan como organismos rectores del análisis de la calidad del agua en México.

3.1 FUNDAMENTOS DE LAS DETERMINACIONES ANALÍTICAS

A. PARÁMETROS DE CAMPO

TEMPERATURA

La temperatura es un indicador de la calidad de agua que debe ser medido “in situ”, utilizando termómetros o electrodos de temperatura con un rango apropiado para las condiciones del medio (Tortorelli, 2009).

La temperatura influye de forma muy significativa en las especies acuáticas determinando su metabolismo, productividad primaria, respiración y descomposición de materia orgánica. Por ejemplo cuando la temperatura aumenta se da una proliferación del fitoplancton aumentando también la absorción de nutrientes disueltos, Un líquido caliente que vuelca a un curso receptor, puede aumentar la temperatura del entorno e incidir en la solubilidad del oxígeno disuelto en él, a mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, influye también en las velocidades de las reacciones químicas, en los usos del agua y en la vida de la flora y la fauna acuática, ya que puede provocar la coagulación de las proteínas de la materia orgánica y aumentar la toxicidad de algunas sustancias.

La lectura de cifras de temperatura se utiliza también en el cálculo de diversas formas de alcalinidad, en estudios de saturación y estabilidad respecto al carbonato de calcio, en el cálculo de la salinidad y en las operaciones generales de laboratorio. Igualmente incide en los procesos biológicos, la temperatura óptima para el desarrollo bacteriano se encuentra comprendida en el rango de 25 a 35 °C, estos procesos se inhiben cuando se llega a los 50 °C. A los 15 °C las Bacterias productoras de metano cesan su actividad (Chirinos, et al. 2012).

Por acuerdo del Comité Internacional de Pesas y Medidas en 1989, la Escala Internacional de Temperatura (ITS-90) se define operacionalmente en términos de técnicas de medición por termometría de presión de vapor, termometría de gas, termometría con resistencia de platino y pirometría óptica.

Es usual expresar la temperatura con base en la escala Celsius (°C), definida con relación a la temperatura termodinámica por:

$$T (\text{°Celsius}) = T (\text{Kelvin}) - 273,15 \text{ K}$$

El grado Celsius es una unidad de temperatura de magnitud idéntica al grado Kelvin.

Sobre la escala Celsius, la temperatura de fusión del agua pura a la presión de 101,325 kPa, es igual a 0 °C y la ebullición del agua, a la misma presión, es igual a 100 °C.

El método de prueba normado establece el procedimiento para realizar la medición en centígrados (°C).

Las temperaturas elevadas en el agua son indicadores de actividad biológica, química y física en el agua, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica de un cuerpo de agua, por lo que es necesario medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes en el agua.

El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable, es también un parámetro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y una especificación de importancia en los cálculos de balance de energía y de calor de los procesos industriales. (NMX-AA-007-SCFI-2000).

pH

La medición del pH del agua es muy importante para muchos tipos de muestra.

Los valores altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directamente o indirectamente. Es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático.

Asimismo, es importante para el funcionamiento efectivo de los procesos de tratamiento de aguas y su control (por ejemplo, floculación y desinfección de cloro), el control de plumbosolencia de aguas potables y tratamiento biológico de aguas residuales y los vertidos de aguas residuales.

Se utilizan distintos métodos de determinación, que van desde la simple utilización de papel indicador a sofisticados métodos utilizando un medidor de pH. La determinación de pH se puede clasificar en dos clases, colorimétricas y electrométrico. (NMX-AA-008-SCFI-2011).

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

La conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura.

La determinación de conductividad es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, residual tratada, de proceso o bien del agua para ser usada en el laboratorio en análisis de rutina o para trabajos de investigación.

El valor de conductividad es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano. (NMX-AA-093-SCFI-2000)

SALINIDAD

La salinidad es el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua. Dicho de otra manera, es válida la expresión *salinidad* para referirse al contenido salino en suelos o en agua. El sabor salado del agua se debe a que contiene cloruro de sodio (NaCl). El porcentaje medio que existe en los océanos es de 3,5% (35 gramos por cada litro de agua). Además esta salinidad varía según la intensidad de la evaporación o el aporte de agua dulce de los ríos aumenta en relación a la cantidad de agua. (Mihelcic, 2008).

MATERIA FLOTANTE

Este método se basa en la observación de la materia flotante en una muestra de aguas residuales en el sitio de muestreo mediante la separación de ésta en una malla de aproximadamente 3 mm de abertura; este método es una prueba cualitativa.

La determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas es de importancia para el control y tratamiento de descarga. (NMX-AA-006-SCFI-2000).

OXIGENO DISUELTO

En los desechos líquidos el Oxígeno Disuelto es el factor que determina que los cambios biológicos sean producidos por organismos aeróbicos o anaeróbicos. Los aeróbicos usan oxígeno libre para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica y forman productos finales inocuos, mientras que los anaeróbicos llevan a cabo la oxidación mediante la reducción de algunas sales inorgánicas como sulfatos, y los productos finales. Puesto que las dos clases de organismos están propagadas en la naturaleza, es muy importante que se mantengan condiciones favorables para los organismos aeróbicos (condiciones aeróbicas); de otra manera, proliferan los organismo anaeróbicos y se generan condiciones nocivas. Consecuentemente, para mantener las condiciones aeróbicas es vital hacer mediciones de Oxígeno Disuelto en las aguas naturales que reciben material contaminante y en los

procesos aeróbicos de tratamiento que se realizan para purificar las aguas residuales domésticas e industriales.

Las determinaciones del oxígeno disuelto son la base del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), por tanto, son el principio de las mediciones más importantes que se usan para evaluar la magnitud de la contaminación de los desechos domésticos e industriales. La velocidad de la oxidación bioquímica se puede calcular determinando el oxígeno disuelto residual de un sistema a diferentes intervalos de tiempo.

Todos los procedimientos de tratamiento aeróbico dependen de la presencia de oxígeno disuelto, y análisis de éste es un medio indispensable para controlar que la velocidad de aireación asegure el aporte de suficiente cantidad de aire para mantener las condiciones aeróbicas, y evitar el uso excesivo de aire y energía. (Sawyer, 2001).

COLORO RESIDUAL

La práctica de la desinfección con cloro ha llegado a ser tan extensa y generalmente aceptada, que con frecuencia la razón real se da por descontada. Es importante que los ingenieros ambientales se familiaricen con la historia de las grandes pestes que han afligido a la humanidad y los acontecimientos que han llevado a probar que el agua es el principal vehículo de transmisión de algunas enfermedades.

En años recientes se ha visto que la cloración produce trihalometanos y otras sustancias orgánicas que afectan la salud. En consecuencia está aumentando el uso de desinfectantes alternativos como el dióxido de cloro y el ozono, que no ocasiona este problema. El experto ambiental necesita entender la química de estos desinfectantes así como sus limitaciones. (Prescott y Horwood, 1946).

B. PARÁMETROS DE LABORATORIO

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Al Ingeniero Ambiental le interesa la medición de la materia sólida existente en una gran variedad de materiales líquidos y semilíquidos que oscilan entre las aguas potables y las contaminadas, los residuos domésticos y los industriales y los lodos formados en los procesos de tratamiento. En sentido estricto, toda la materia excepto el agua contenida en los materiales líquidos se clasifica como sustancia sólida. Sin embargo, la definición usual de sólidos, se refiere a la materia que queda como residuo después de la evaporación y el secado entre 103 °C y 105°C.

Debido a la gran variedad de materiales inorgánicos y orgánicos que se encuentran en los análisis de sólidos, las pruebas tienen carácter empírico y se realizan con relativa facilidad. En casi todos los casos se utilizan los métodos gravimétricos y en otros casos como el método electrométrico se realizan en función de la Conductividad Eléctrica.

La cantidad y naturaleza de los sólidos disueltos y no disueltos presentes en materiales líquidos es muy variada. En las aguas potables la mayor parte de la materia se encuentra en forma disuelta y está constituida principalmente por sales inorgánicas, pequeñas cantidades de materia orgánica y gases disueltos. Como regla, la dureza aumenta con el contenido total de sólidos disueltos, que en aguas potables que usualmente oscilan entre 20 y 1000 mg/L. (Sawyer, 2001)

La concentración de sólidos disueltos es un indicador importante de la utilidad del agua para diversas aplicaciones. El agua potable por ejemplo, tiene una concentración de SDT máxima recomendada de 500 mg/L. Mucha gente comenzaría a notar que el agua adquiere un gusto salado cuando los SDT ronda los 1000 mg/L, aunque esto depende en gran medida de las sustancias concretas disueltas. La ganadería puede tolerar concentraciones más altas. (Masters, 2008).

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno se define usualmente como la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias durante la estabilización de la materia orgánica susceptible de descomposición, en condiciones aeróbicas. Al decir “susceptible de descomposición”, se hace referencia a que la materia orgánica puede servir de alimento a las bacterias y que su oxidación genera energía.

La prueba de la DBO se utiliza mucho para determinar el poder de contaminante de los residuos domésticos e industriales, en términos de la cantidad de oxígeno que requieren sin son descargados a las corrientes naturales de agua en las que existen condiciones aeróbicas. Esta prueba es una de las más importantes en las operaciones de control de la contaminación de las corrientes y cuerpo receptores.

También tiene gran importancia para establecer los criterios de regulación, y para realizar estudios que evalúan la capacidad de purificación de cuerpos de aguas receptores.

La prueba de la DBO es esencialmente un procedimiento de bioensayo que mide el oxígeno consumido por lo organismos vivos (especialmente las bacterias) al utilizar la materia orgánica de un residuo, en condiciones lo más semejantes posible a las de la naturaleza. Para hacer que la prueba sea cuantitativa, las muestras se deben proteger del aire evitando la reaireación a medida que el nivel de oxígeno disuelto disminuye. Además, debido a la limitada solubilidad del oxígeno en el agua (aproximadamente 9 mg/L a 20°C), los residuos concentrados se deben diluir a niveles de demanda que mantengan este valor para asegurar que el oxígeno disuelto estará presente durante la realización de la prueba. Puesto que éste es un procedimiento de bioensayo, es de suma importancia que las condiciones ambientales sean apropiadas para que la actividad de los organismos vivos permanezca sin obstáculos. Esto significa que no debe haber sustancias tóxicas, y que debe de haber disponibilidad de los nutrientes accesorios necesarios para el crecimiento bacteriano, como nitrógeno, fósforo y algunos

oligoelementos. La degradación biológica de la materia orgánica en condiciones naturales es producida por un grupo diverso de organismos que llevan la oxidación hasta el final, o sea casi completamente hasta CO_2 y H_2O . Por tanto es importante que haya en la prueba un grupo variado de organismos, comúnmente llamado “semillas”

NITRITOS.

Son sustancias iónicas que se forman por la oxidación bacteriana incompleta del Nitrógeno orgánico. El uso principal de los Nitritos es como preservativo en alimentos, generalmente bajo la forma de sal de sodio o de potasio (OPS, 1987). Esta forma del Nitrógeno (Nitritos) rara vez se encuentra en concentraciones mayores que 1 mg/L, incluso en los efluentes de las plantas de tratamiento de desechos. Su concentración en aguas superficiales y profundas es bastante menor que 0.1 mg/L y por esta razón se necesitan métodos sensibles para su medición. El procedimiento colorimétrico ofrece esta sensibilidad y se utiliza la modificación de Griess-Ilosway del método de Diazoación. Esta usa dos reactivos orgánicos: la sulfanilamida y el dihidrocloruro de etilendiamina.

En condiciones ácidas, el ión nitrito como ácido nitroso reacciona con un grupo amino de la sulfanilamida para formar una sal diazonio que se combina con el hidrocloreuro de etilendiamina para formar un medio de color rosado o rojizo brillante. El color producido es directamente proporcional a la cantidad de nitrógeno de los nitritos que se encuentran en la muestra, y la determinación de la cantidad se puede hacer por comparación con colores estándares o por medio de mediciones fotométricas (Sawyer, 2001).

NITRATOS

Los nitratos se hayan ampliamente difundidos en grandes cantidades en el suelo, en la mayoría de las aguas y en las plantas, incluyendo las verduras. Los nitratos son productos de la oxidación del N orgánico por las bacterias presentes en el suelo y en el agua, cuando el oxígeno presente es suficiente. Los niveles de

nitrateo en el agua, típicamente están por debajo de los 5 mg/L; ahora bien, en ciertas fuentes pueden ocurrir niveles que excedan los 10 mg/L. En numerosos estudios realizados se han encontrado niveles de nitrato que fluctúan entre 20 y más de 200 mg/L. los aumentos en los niveles de nitratos en el agua se relacionan comúnmente con la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Son notorias las variaciones estacionales que en la concentración de nitratos pueden ocurrir en los ríos, pudiendo presentarse niveles altos, especialmente después de intensas lluvias producidas luego de períodos de aguda sequía. Los niveles en el agua subterránea tienden a ser mucho más estables durante el año (OPS, 1987).

La determinación de estos compuestos (nitratos) es una de las más difíciles que el analista puede realizar para obtener resultados confiables. En los últimos años se han ideado varios procedimientos; todos tienen limitaciones, con las cuales el analista se debe familiarizar. Uno de los procedimientos más comunes y con relativa confiabilidad es el método colorimétrico; es altamente sensible para el análisis de nitrato y es a través de la reducción del cadmio y sales de EDTA. Debido a la sensibilidad del método colorimétrico se pueden detectar concentraciones de nitrato tan bajas de hasta de 0.01 mg/L.

El procedimiento de espectrofotometría ultravioleta se puede utilizar en la clasificación inicial para ayudar a decidir cuáles deben ser las diluciones de la muestra si son necesarias, y cuál es el método de análisis particular más apropiado.

SULFATOS

La mayoría de sulfatos son solubles en el agua, con excepción de los sulfatos de plomo, bario y estroncio. El sulfato disuelto se considera como un soluto permanente del agua. Sin embargo, se puede reducir a sulfuro, volatilizando al aire como H_2 , precipitado como una sal insoluble o incorporado en organismos vivientes.

Los sulfatos llegan al medio acuático por los desechos provenientes de una multiplicidad de industrias. El bióxido de azufre atmosférico (SO_2), que se forma por la quemadura de combustibles fósiles y se emite por los métodos de calcinación metalúrgica puede también contribuir al contenido de sulfatos del agua superficial. El trióxido de azufre (SO_3), que se produce por la oxidación fotolítica o catalítica del bióxido de azufre, se combina con el vapor del agua y forma el ácido sulfúrico, que se precipita como "lluvia ácida".

La concentración de sulfato en la mayoría de las aguas dulces es muy baja, aunque son comunes los niveles entre 20 y 50 mg/L, en la zona oriental de los Estados Unidos, Canadá y la mayor parte de Europa. (Organización Panamericana de la Salud, 1987).

En ausencia de oxígeno disuelto, los sulfatos sirven como fuente de oxígeno (o más correctamente, como aceptantes de electrones) para las oxidaciones bioquímicas producidas por las bacterias anaeróbicas. En condiciones anaeróbicas, el ión sulfato, que establece el equilibrio con el ión hidrógeno para formar sulfuro de hidrógeno, de acuerdo con su constante de ionización primaria $K_{A1} = 9.1 \times 10^{-8}$. A valores de pH de 8 y más altos, la mayor parte del azufre reducido está en solución en forma de iones HS^- y S^{2-} , y la cantidad de H_2S libre es tan pequeña que su presión parcial es insignificante, de modo que no hay problemas de olor. A niveles de pH por debajo de 8, el equilibrio se desvía rápidamente hacia la formación de H_2S no ionizado, y a un pH de 7, la concentración de H_2S es aproximadamente del 80%: En estas condiciones, la presión parcial del sulfuro de hidrógeno se hace tan grande que causa serios problemas de olor cuando la reducción del sulfato produce una cantidad significativa de ión sulfuro. Se deben evitar concentraciones mayores de 20 mg/L debido a su toxicidad. (Sawyer, 2001).

SULFURO DE HIDRÓGENO.

El sulfuro de hidrógeno es un gas inflamable y venenoso, que tiene un olor característico a huevos podridos. El ácido sulfhídrico y los sulfuros de los metales y tierras alcalinos son solubles en el agua. Los sulfuros de sulfuro se disocian en el agua formando iones sulfuro, los que reaccionan con los iones hidrógeno para formar el ión hidrosulfuro (HS^-) o el hidrógeno sulfurado o ácido sulfhídrico (H_2S). Las concentraciones relativas de estas especies dependen del pH del agua y, en lo que respecta al ácido sulfhídrico, su concentración aumenta al disminuir el pH. El ión sulfuro está presente en concentraciones apreciables por encima de un pH de 10.

En el agua bien aireada, el ácido sulfhídrico se oxida y se convierte en sulfato. La oxidación biológica tiene lugar hasta llegar al azufre elemental y los sulfuros forman un vínculo indispensable en la naturaleza conocido como “ciclo del azufre”.

El sulfuro se presenta en forma natural en los minerales, el petróleo y los depósitos de carbón. El cobre, plomo, zinc, níquel y otros metales de explotación minera pueden ocurrir como sulfuros simples o complejos. Los sulfuros de hierro a menudo están asociados con estos minerales.

Los sulfuros también se encuentran en los desechos industriales provenientes de plantas de petróleo y de plantas petroquímicas, de plantas químicas, sistemas de abastecimiento de gas, fábricas de papel, plantas de agua pesada y curtiembres. Los sulfuros se originan por las bacterias reductoras de sulfatos. El crecimiento de bacterias reductoras de sulfatos en los sistemas de distribución puede ser causa importante de los problemas de sabor y olor en el agua potable. (Organización Panamericana de la Salud, 1987).

3.2 MÉTODOS ESTÁNDAR DE ANÁLISIS

Los “métodos estándar” como está publicada hoy en día es el producto del incansable esfuerzo de cientos de individuos que trabajaron en comités y subcomités analizando y mejorando los procedimientos analíticos para seleccionar los que mejor se ajustan para su inclusión en “Métodos Estándar” (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater EPA). La evidencia obtenida por analistas calificados basada en los métodos recomendados por esta publicación, es normalmente aceptada en diversas asociaciones afines en varios países de mundo.

3.3 PLAN DE MUESTREO.

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

Se agruparon las diferentes estaciones de muestreo en cuatro zonas: Norte, Oeste, Sur y Este, de acuerdo a la tabla 3:

Tabla 3. Agrupación de las zonas de Estudio en la laguna L3P.

NORTE	OESTE	SUR	ESTE
SAN PEDRO LAS PLAYAS	TRES PALOS	UN. VICENTE GUERRERO	BARRA VIEJA
LA ESTACIÓN	LA POZA	VIVERISTAS	PLAN DE LOS AMATES
INTERIOR (100 metros)	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR (100 metros)



Figura 8. Localización de las zonas de estudio en la Laguna de Tres Palos.
Fuente: Plan de Gestión Integral de la Cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos, 2011.

Los valores expresados son promedio de tres determinaciones analíticas por cada zona de muestreo, en la orilla de los poblados y 100 metros al interior de la laguna, frente a cada estación de muestreo.

Se eligieron los puntos de muestreo de acuerdo a la Densidad Demográfica, a la Intensidad de la Actividad Económica y a la ubicación Geográfica.

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El propósito del análisis es aplicar un conjunto de estrategias y técnicas que le permiten al investigador obtener el conocimiento que estaba buscando, a partir del adecuado tratamiento de los datos recogidos (Hurtado, 2000:181).

Para el Análisis Estadístico de la muestras analizadas, se aplicó el Programa Estadístico **SPSS v.15** *Statistical Package for the Social Sciences*.

Se propone un Índice de Calidad del Agua (ICA) de la Laguna de Tres Palos, como resultado de la presente investigación.

Se utilizó el Método de Análisis Multivariante, denominado Método de Análisis de Componentes Principales. El análisis multivariante es el conjunto de técnicas estadísticas que de forma simultánea **miden, explican y predicen todas las relaciones existentes entre los elementos que conforman una tabla de datos**, proporcionando un resultado que debe ser interpretado minuciosamente por el analista.

En esencia, la mayoría de las técnicas de análisis multivariante tienen como fundamento la búsqueda de una **combinación óptima** de las variables implicadas en el análisis; más en concreto, dicha combinación **debe representar las interrelaciones** que existen entre esas variables **o explicar el comportamiento** de alguna otra variable —ya sea con fines **predictivos o clasificatorios**— de la mejor manera posible. Tal combinación representa el modelo ajustado, es decir, la mezcla de variables que se adapta a los hechos observados.

3.5 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA DE TRES PALOS (L3P)

Un Índice de Calidad del Agua (ICA) es un número adimensional, comprendido entre 1-100, donde a mayor valor mejor es la calidad del recurso. Los parámetros incluidos en los ICA así como la definición de los rangos se han basado tradicionalmente en las curvas de distribución de las variables o en criterios biológicos en el caso del oxígeno disuelto o el pH (Peterson & Bogue, 1989). En este estudio la selección de las variables se realizó teniendo en cuenta los criterios generales del organismo ambiental de Estados Unidos, la EPA (Hallock, 1990; Cude, 2001) y métodos multivariados para la definición de los grupos de estaciones, a partir de los cuales se definieron los rangos de ponderación para cada clase.



Figura 9. Determinación de Oxígeno Disuelto



Figura 10. Muestreo zona Norte. Octubre 2011



Figura 11. Muestreo de campo en Zona Norte, L3P.



Figura 12. Recolección de muestra en zona Sur de L3P



Figura 13. Muestreo de campo canal meándrico, zona Este



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La calidad del agua de lagos y ríos influye fundamentalmente en su uso. Actividades tales como pesca o natación tienen entre sí diferentes requerimientos de calidad del agua, mientras que la de las fuentes de suministro para consumo humano debe ser aún mejor. En muchos países del mundo, México entre ellos, la descarga de contaminantes generados por las actividades humanas han degradado seriamente la calidad del agua, al grado de haber convertido corrientes prístinas en canales de aguas residuales con unas cuantas formas de vida y muy pocos usos benéficos.

4.1 PARÁMETROS DE CAMPO

Temperatura

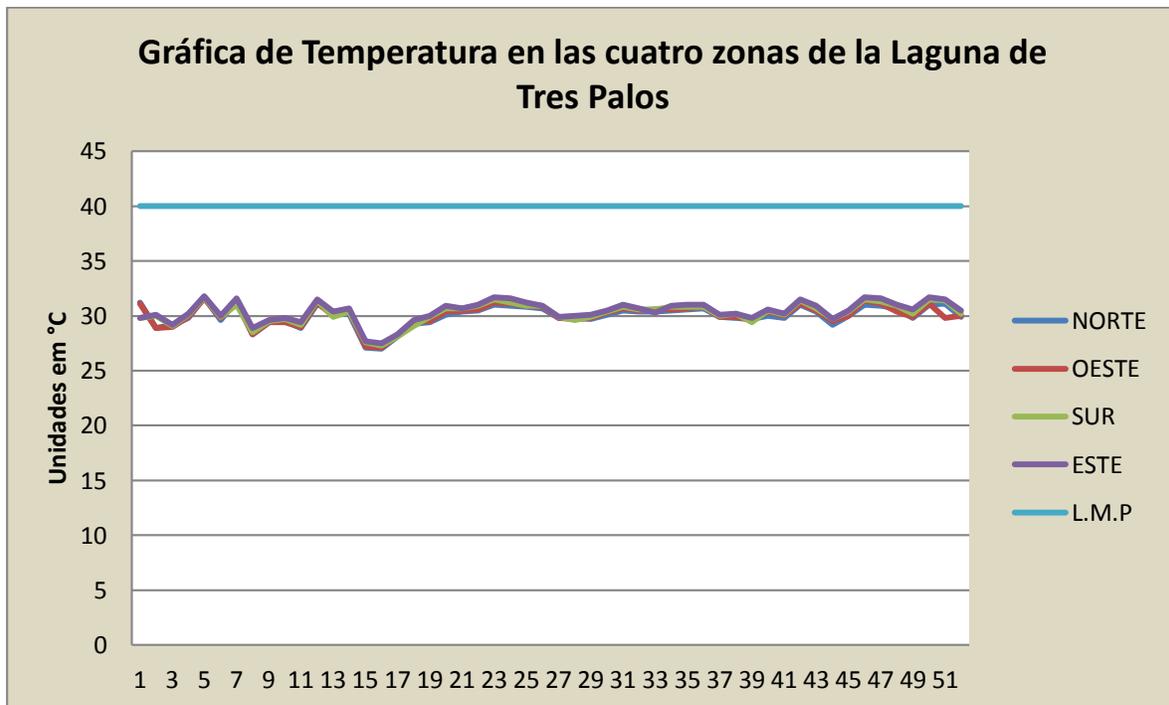


Figura 14. Gráfica de Temperatura
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

Se muestran los valores promedio obtenidos en las 4 zonas de estudio de la laguna de Tres Palos, comparados con los límites máximos permisibles, de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996. Se observa que los valores de temperatura se encuentran entre los rangos de 28 a 31 °C y ningún valor rebasó los límites máximos permisibles (40°C). Las temperaturas observadas se encuentran en la clasificación mesofílica y esto permite concluir que toda la región hidrológica de la laguna L3P contiene una estabilidad homogénea en sus procesos naturales de vida acuática vegetal, animal y microscópica.

pH

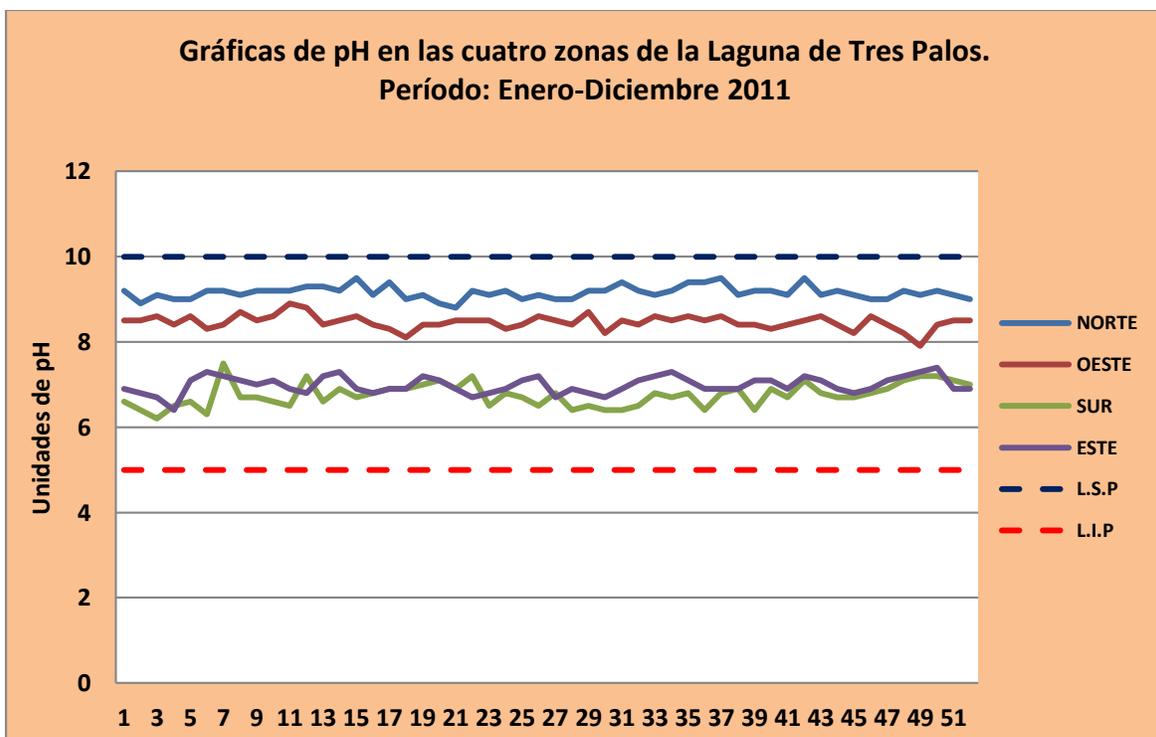


Figura 15. Gráfica de pH de las 4 zonas de L3P. Período Enero-Diciembre de 2011.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

Los valores obtenidos en las cuatro zonas de estudio de la laguna de Tres Palos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

En la zona Norte se observa que presenta los valores más altos de pH con respecto a las demás zonas. Esto puede ocurrir por varios factores, uno de ellos es la alta presencia de Nitratos en la zona, a mayores concentraciones de Nitratos se tienen valores superiores al pH neutro (7.0). Otro factor son los residuos que se generan a partir de las actividades pesqueras de la zona, dichos residuos elevan también el valor del pH y pueden llevarlo a condiciones alcalinas. A pesar de que el pH en la zona Norte se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, estos valores pueden ser un indicador de que sus valores son influidos directamente por las actividades del hombre.

La zona Oeste presenta valores menores a los de la zona Norte. Esta zona también presenta tendencia alcalina (valores superiores a 7.0) y esto se puede correlacionar con los valores de Nitratos que presenta y que son inferiores que la zona Norte.

Tanto para la zona Norte como la zona Oeste, los valores del pH pueden seguir aumentando si no hay un control en la materia orgánica que se desecha a este cuerpo receptor; pero también puede ocurrir el efecto inverso, puede haber una reducción de los valores del pH y cambiar de condición alcalina a la ácida (valores inferiores de 7.0), esto se puede deber a las bajas concentraciones de Oxígeno Disuelto presentes y que pueden darse condiciones anaeróbicas donde los Sulfatos presentes puedan ser reducidos a iones Sulfuro o incluso llegar a formar el ácido sulfhídrico teniendo valores de pH por debajo de 3.

Los valores en las zonas Sur y Este son muy cercanos a los valores neutros (7.0) por lo que se deduce que son zonas con cargas bajas de contaminantes o nulas. Haciendo una correlación con los Nitratos se observa que las concentraciones son bajas en comparación a las de las otras dos zonas por lo que se deduce que las concentraciones de Nitratos pueden ser directamente proporcionales con los valores que se tengan de pH.

Conductividad Eléctrica (CE)

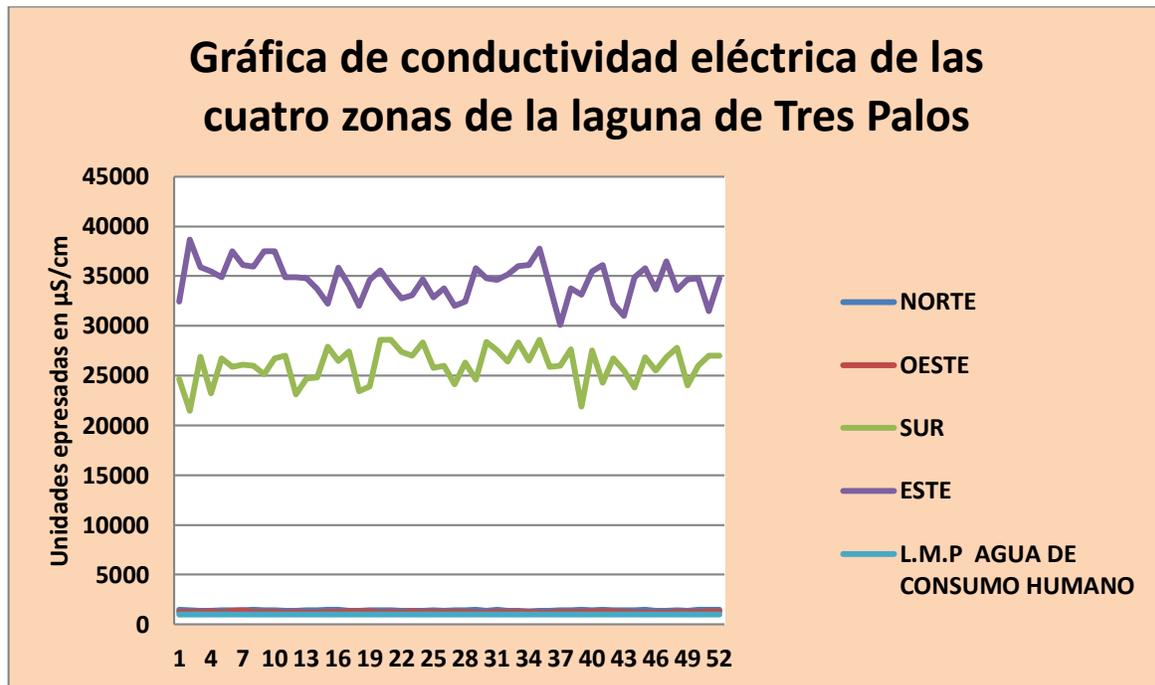


Figura 16. Gráfica de Conductividad Eléctrica por zonas en L3P. Enero-Diciembre de 2011.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

Los resultados obtenidos a lo largo de las 52 semanas muestran el comportamiento de la Conductividad Eléctrica en las cuatro zonas de muestreo que conformaron a la Laguna de Tres Palos. Se observa que en las zonas Norte y Oeste, los valores se encuentran en el rango inferior a los $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ por lo que se puede concluir que en estas zonas el agua de la laguna tiene poca influencia salina del mar; es el área más “dulce” de la laguna. Tener entonces valores cercanos a los mencionados anteriormente es un indicador de la presencia de contaminación orgánica.

Comúnmente el 48 % de la Conductividad Eléctrica se le atribuye a la presencia de sales que son englobados en los Sólidos Disueltos Totales y al resto del porcentaje a factores de contaminación de tipo doméstica (sólo en conductividades no mayores a los $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$) (Harris, 2009).

En el caso de las zonas Sur y Este, se observan valores superiores a los 22000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores se asocian a la influencia del mar debido a la cercanía que tiene ambas zonas con las mismas. A pesar de los valores altos de Conductividad Eléctrica presentes, no se relaciona con la presencia de contaminantes debido a los valores que se obtuvieron de Demanda Bioquímica de Oxígeno (como se muestra en la tabla de resultados y su gráfica), la presencia de contaminación es menor. Las altas concentraciones se explican por las concentraciones presentes del cloruro de sodio, iones cloruros que son los elementos predominantes en las concentraciones de Conductividad Eléctrica cuando se trata de agua de mar.

No hay valores de referencia que se puedan utilizar como límite máximo permisible por norma alguna. Por experiencia se sabe que valores inferiores a los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ son los ideales para su uso y consumo humano. En el caso de cuerpos receptores de aguas dulces como es el caso de la Laguna de Tres Palos, valores inferiores a los 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ son los ideales para hablar de contaminación ausente o moderada.

A falta de un límite máximo permisible, se recomienda que la Conductividad Eléctrica sea comparada y relacionada (en caso de ser posible) con los demás parámetros de estudio para saber el grado de contaminación que pueda ser factor en cada valor obtenido, específicamente con Salinidad, SDT y DBO_5 .

Salinidad

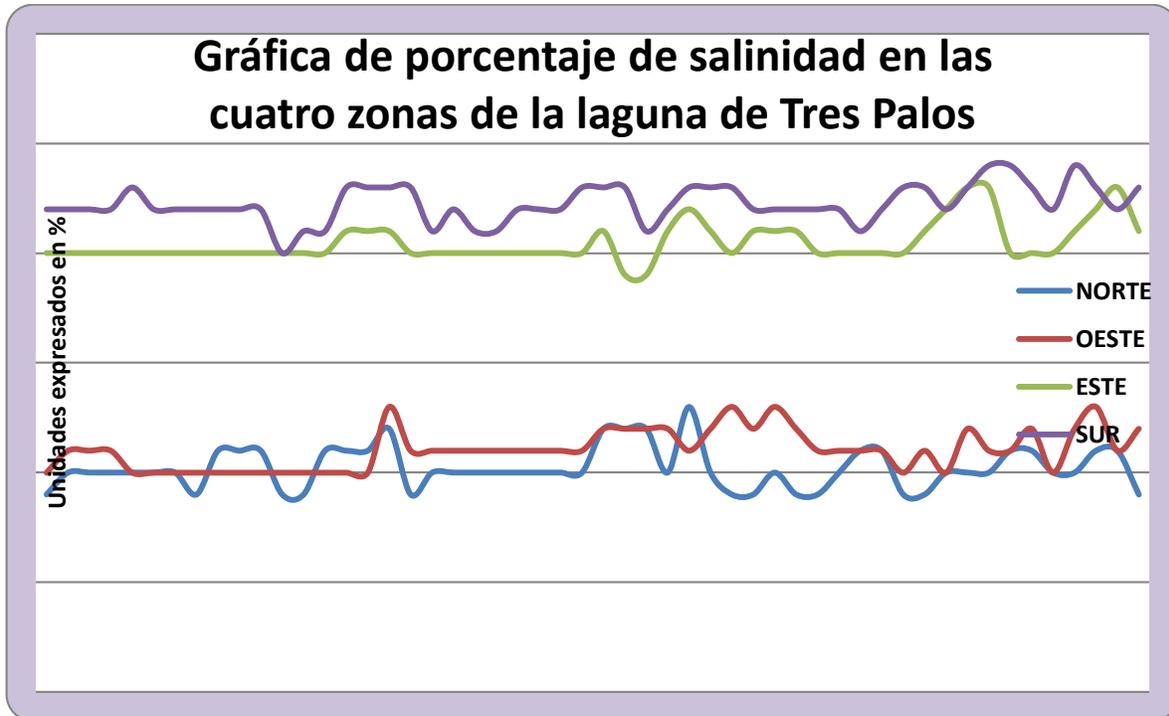


Figura 17. Salinidad en las 4 zonas de Laguna de Tres Palos. Ene-Dic 2011
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

La Salinidad tiene la misma situación ya explicada en la Conductividad Eléctrica. La gráfica muestra que las zonas Norte y Sur tiene fuerte influencia del mar y las zonas restantes tienen una influencia inferior.

La Salinidad también se le puede relacionar con presencia del Oxígeno Disuelto, a mayor porcentaje de Salinidad es menor la concentración del Oxígeno Disuelto presente.

Se concluye que el 50% de la laguna tiene una influencia del mar debido a que su porcentaje de salinidad supera el 1.5 % y que es algo característico en lagunas cercanas al mar.

Materia flotante

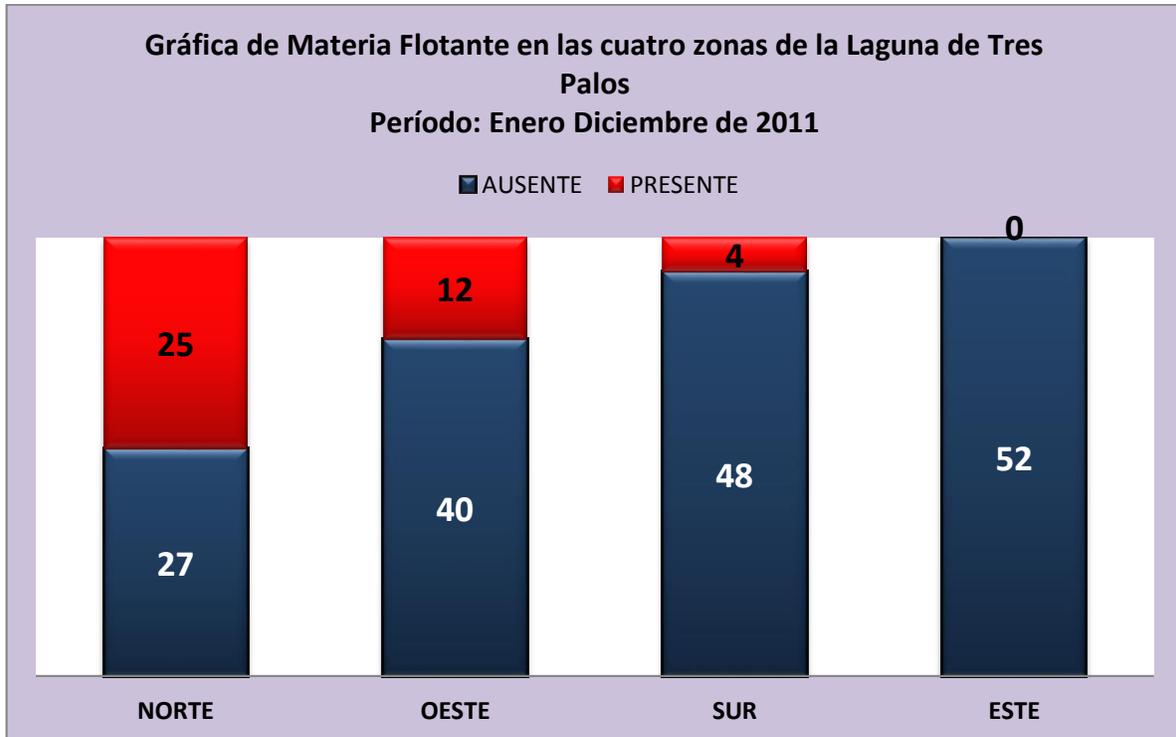


Figura 18. Materia Flotante en las 4 zonas de la Laguna de Tres Palos, Ene-Dic 2011.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

El contenido de Materia Flotante es un indicador de la presencia constante de las actividades humanas que afectan las condiciones ambientales de la Laguna de Tres Palos. La gráfica muestra que las zonas Norte y Oeste tienen presencia de Materia Flotante. Se observó la presencia de plásticos (bolsas), envases de refrescos, residuos del fileteado del pescado, vasos, etc.

La presencia de Materia Flotante es un indicador primario de lo que puede haber en otros parámetros indicadores de la contaminación; por ejemplo la presencia elevada de DBO_5 es una confirmación de la relación que puede haber con la presencia de la materia flotante.

En la zona Sur sólo hubo presencia en cuatro de las 52 semanas que se hicieron los muestreos y análisis. Es baja comparado con las zonas Norte y Oeste por lo que se puede concluir que la zona Sur no tiene problemas de Materia Flotante.

La zona Este es la única zona donde no hubo la presencia de algún elemento que se le pueda considerar como Materia Flotante.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, indica que no debe haber presencia alguna de materia flotante por lo que las zonas Norte, Oeste y Sur tienen valores que rebasan los límites máximos permisibles violando los lineamientos de la norma y perjudicando al entorno ecológico.

Oxígeno disuelto

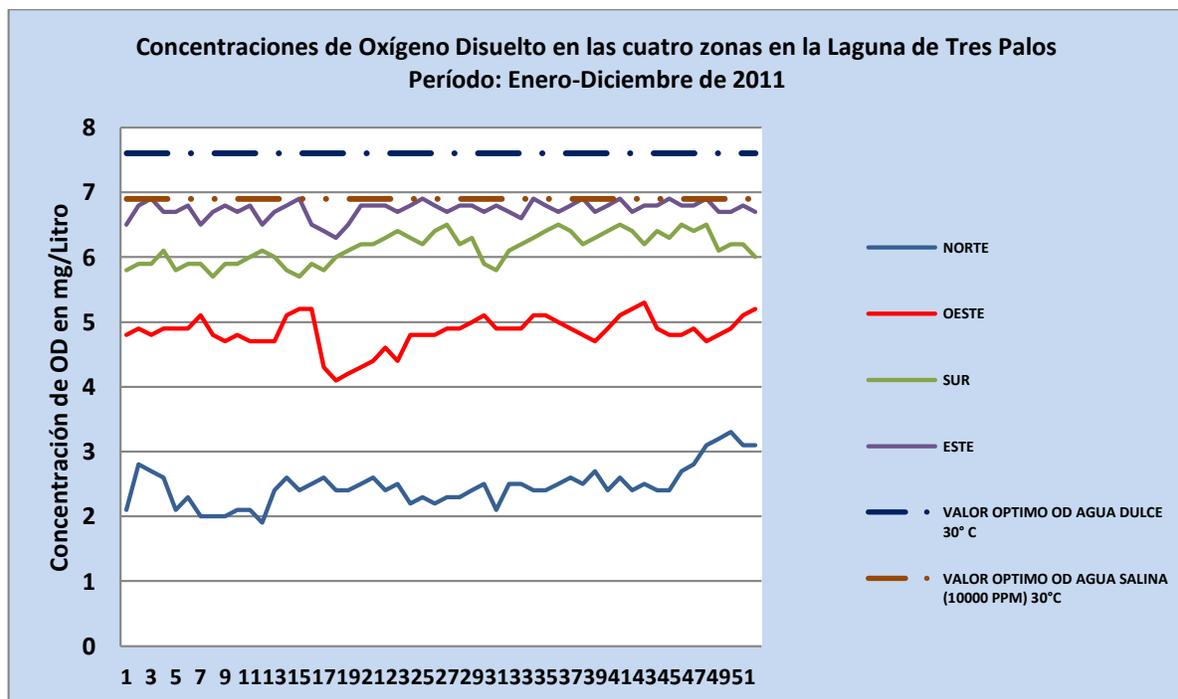


Figura 19. Gráfica de valores de Oxígeno Disuelto en las cuatro zonas de estudios y comparados con valores óptimos.

FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

La gráfica de OD tiene una interpretación diferente con respecto a los demás parámetros. Su particularidad es que los límites que se muestran son valores óptimos recomendados por diversos investigadores y autoridades en materia sanitaria. El OD tiene una relación inversa con las concentraciones de Salinidad y Temperatura. A mayor Salinidad, menor concentración de OD (para 1000 mg/L de Salinidad en un rango de Temperatura de 30 a 32 °C, el valor óptimo de OD es de 6.9 mg/L), e igualmente, a mayor Temperatura, menores concentraciones de OD.

En teoría, estar por debajo de las líneas de valores óptimos, no es algo para preocuparse.

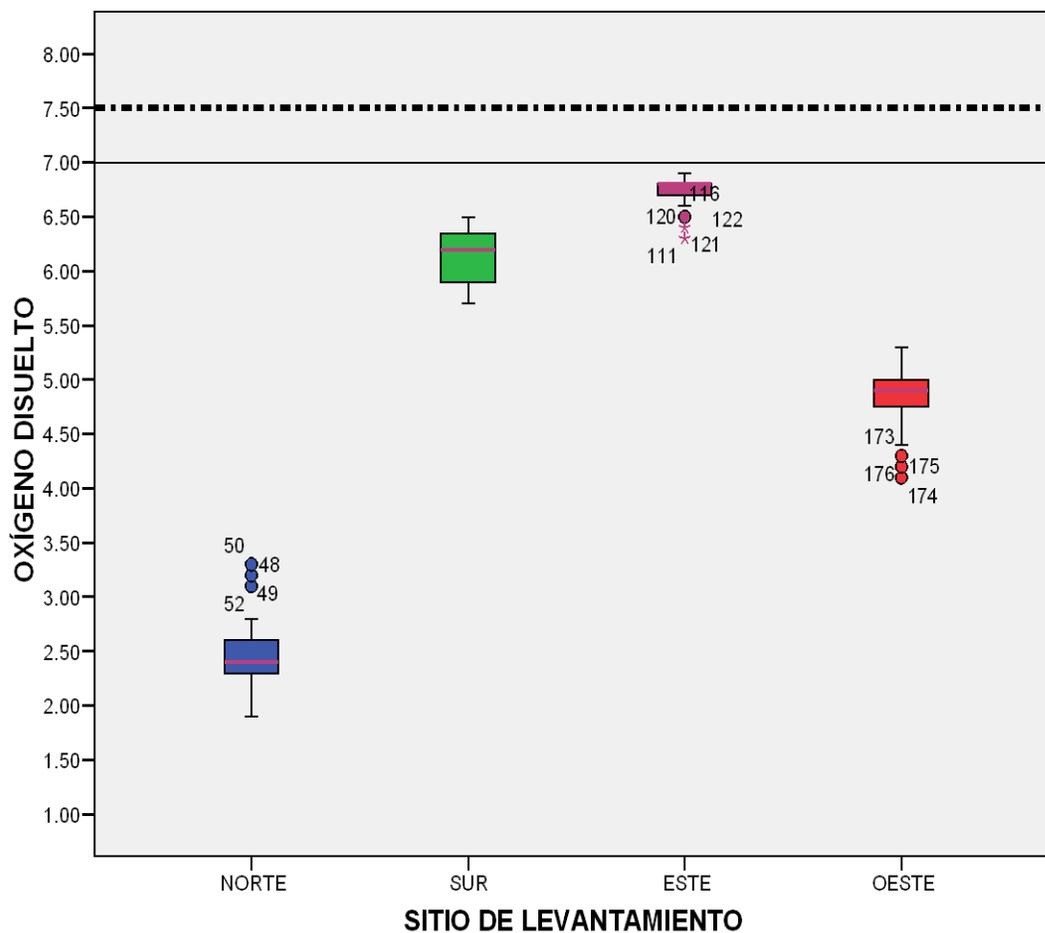


Figura 20. Diagrama de Cajas Comparativo, de OD en las 4 zonas de L3P.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

Las zonas Norte y Oeste contienen % de Salinidad menores a 10000 mg/L, por lo que se esperan, en condiciones naturales (sin presencia de contaminantes) valores de concentración de OD superiores a 6.9 mg/L (para aguas dulces, el valor óptimo recomendado es de 7.6 mg/L, Sawyer, 2001). Sin embargo, durante las 52 semanas de estudio, se detectaron y cuantificaron concentraciones de OD inferiores a 3 mg/L para la Zona Norte y valores no mayores a 5 mg/L para la zona Oeste. Estos valores no corresponden a los valores óptimos que debe de tener un cuerpo receptor como la Laguna de Tres Palos, lo cual pudiera ser un indicador de la presencia de diversos agentes contaminantes que influyen directamente en la disminución del OD por diversos mecanismos, tales como procesos oxidativos biológicos de microorganismos (hidrólisis de proteínas, glucólisis, etc.), así como de procesos químicos inorgánicos (reducción de Nitratos a Nitritos, de Sulfatos a Sulfuro de Hidrógeno, foto-oxidación, degradación oxidativa del carbono, entre otras).

Las zonas Sur y Este tienen las mayores concentraciones de Salinidad (1000 mg/L); los valores obtenidos están cercanos a los óptimos para aguas salinas, con concentraciones aproximadas de 10000 mg/L de Salinidad. Esto significa que las zonas Sur y Este presentan condiciones aeróbicas apropiadas para el desarrollo natural del ecosistema de la Laguna de Tres Palos.

Cloro residual

La presencia de Cloro Residual es una evidencia de la desinfección que se da a las aguas residuales crudas y/o tratadas con el propósito de eliminar los microorganismos patógenos indicadores de contaminación (coliformes fecales).

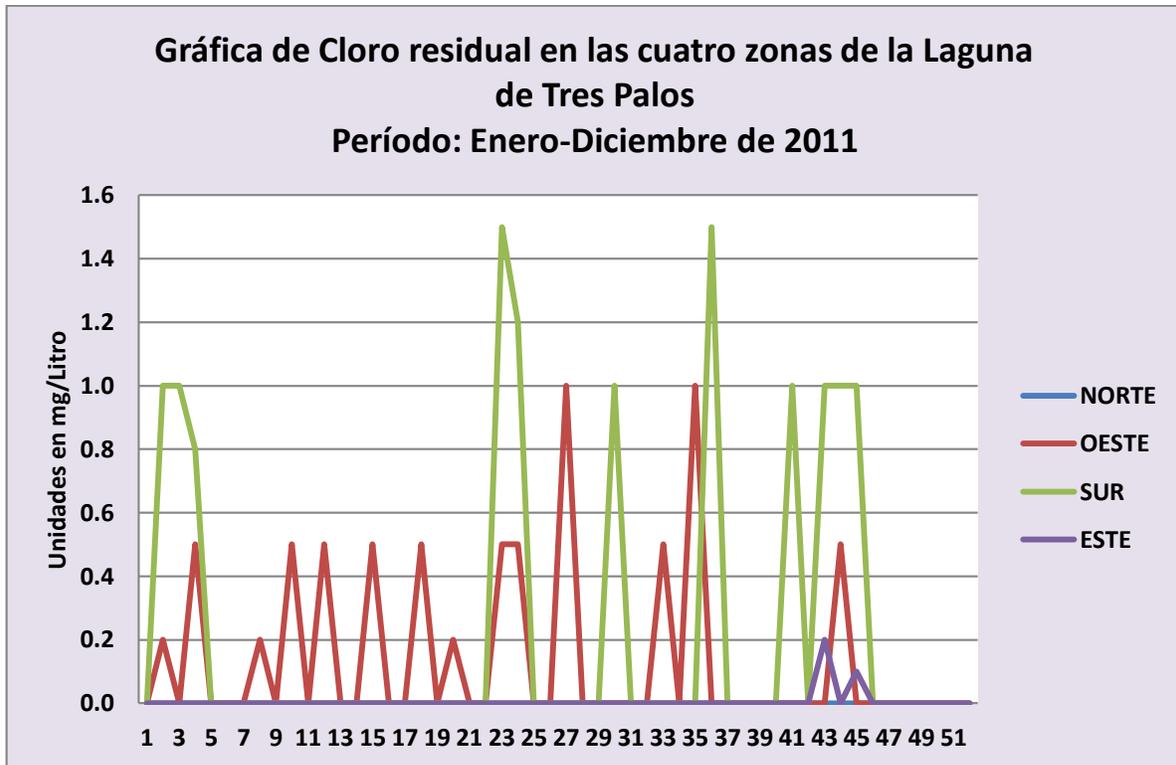


Figura 21. Gráfica de Cloro Residual
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

En la zona Norte no hubo presencia de Cloro de Residual durante el período de muestreo. En la zona Oeste hubo 14 muestras con presencia de Cloro Residual, en la Sur 11 y en la Este 2. La presencia de Cloro Residual en la zona Oeste, puede ser influenciada por las descargas del RLS, que desemboca en esa zona. En la zona Sur puede explicarse la presencia de Cloro Residual, porque existe una PTAR en la U.H.V.G 2000, y sus efluentes son clorados como parte del proceso de depuración.

En años recientes se ha visto que la cloración produce trihalometanos y otras sustancias orgánicas que afectan la salud. En consecuencia está aumentando el uso de desinfectantes alternativos como el dióxido de cloro y el ozono, que no ocasiona este problema. El experto ambiental necesita entender la química de estos desinfectantes así como sus limitaciones. (Prescott y Horwood, 1946).

4.2 PARÁMETROS DE LABORATORIO

Sólidos Disueltos Totales (SDT).

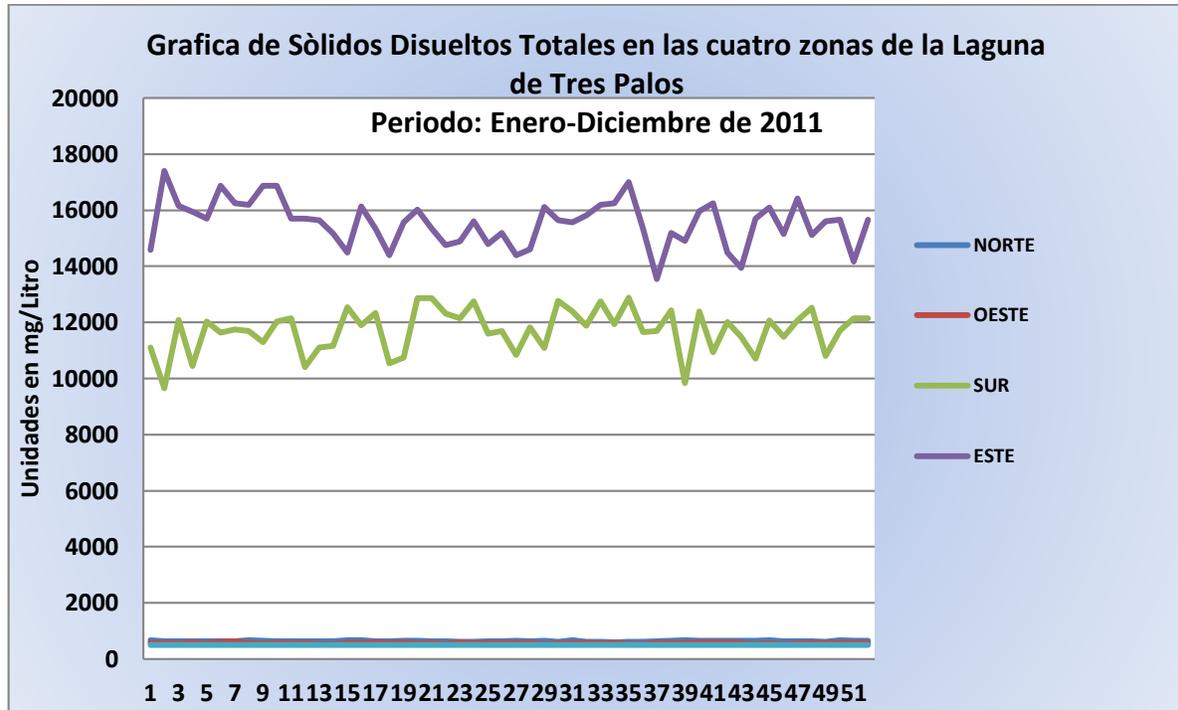


Figura 22. Gráfica de Sólidos Disueltos Totales
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

Las zonas Norte y Oeste, presentaron valores entre 500 y 700 mg/L, lo cual puede ser causa de presencia de sales inorgánicas provenientes de descargas con presencia de contaminantes. La NOM para agua potable dice que los SDT no deben ser mayores a 500 mg/L, para considerarla de buena calidad para uso y consumo humano (NOM-127-SSA-1994).

Las altas presencia de DBO en zonas Norte y Oeste pueden relacionarse con los valores obtenidos de SDT para considerar a estos últimos como indicadores de contaminación.

Para el caso de las zonas Sur y Este, los valores de SDT están más relacionados con las fuentes naturales de sales inorgánicas y con la influencia directa del mar. Otra correlación que podría permitir validar esta información, son los valores bajos

de DBO que presentaron dichas zonas, así como las bajas concentraciones de iones Nitratos

La cantidad y naturaleza de los sólidos disueltos y no disueltos presentes en materiales líquidos es muy variada. En las aguas potables la mayor parte de la materia se encuentra en forma disuelta y está constituida principalmente por sales inorgánicas, pequeñas cantidades de materia orgánica y gases disueltos. Como regla, la dureza aumenta con el contenido total de sólidos disueltos, que en aguas potables que usualmente oscilan entre 20 y 1000 mg/L. (Sawyer, 2001)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

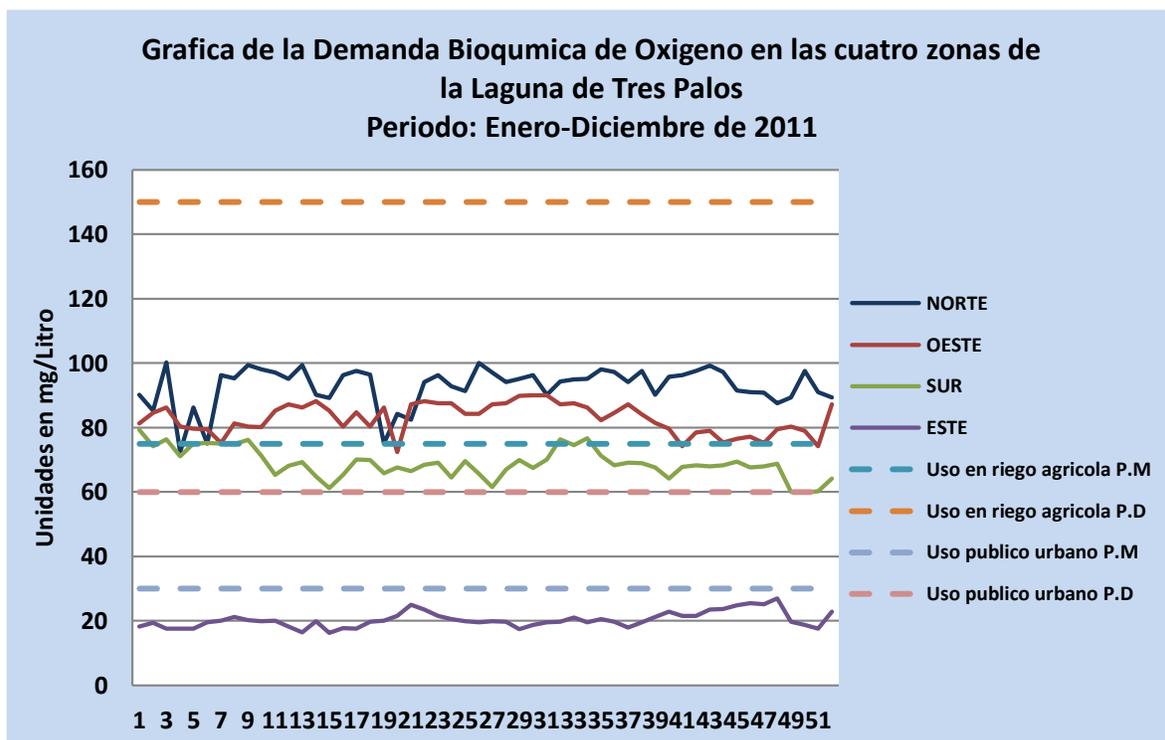


Figura 23. Gráfica de Demanda Bioquímica de Oxígeno.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

Los valores que se presentan en esta gráfica, indican que la Zona Norte contiene valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno superiores a los límites máximos permisibles de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996. La concentración de DBO₅ en la zona Norte permite concluir que ésta contiene contaminación alta, lo cual perjudica considerablemente la existencia de la flora y fauna presentes en

este sector; concentraciones altas de DBO_5 pueden además de indicar contaminación orgánica, altas probabilidades de contener microorganismos patógenos. Los altos valores de este parámetro indican que el agua no puede ser utilizada para uso público urbano ni para uso en riego agrícola.

La gráfica muestra concentraciones altas de Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Zona Oeste, comparado con la Zona Norte sus concentraciones de DBO_5 son menores y cumplen con sólo un límite máximo permisible (Uso en riego agrícola promedio diario). De seguir esta tendencia de contaminación, alcanzará en poco tiempo los altos niveles de contaminación de la Zona Norte. La diferencias de DBO_5 en las dos zonas son apenas de 15-20 mg/L; lo cual indica que hay ligera disminución con respecto a Zona Norte pero sigue catalogándose como contaminación alta.

La Zona Sur presenta menos contaminación que las Zonas Norte y Oeste pero sigue rebasando los límites máximos permisibles de calidad ambiental según la norma NOM-001-SEMARNAT-1996; el promedio de concentración es de 75-79 mg/L. Esta carga de contaminación se sigue considerando alta debido que rebasa a tres de los cuatro límites máximos permisibles de calidad ambiental.

La Zona Este de la laguna de Tres Palos, es la única zona que cumple con todos los límites máximos permisibles y el grado de contaminación que presenta se puede considerar como de baja carga ya que sus valores promedios oscilan en el rango de DBO_5 de 22-26 mg/L. Los valores bajos de DBO_5 hacen pronosticar que no tiene contaminación de tipo inorgánica.

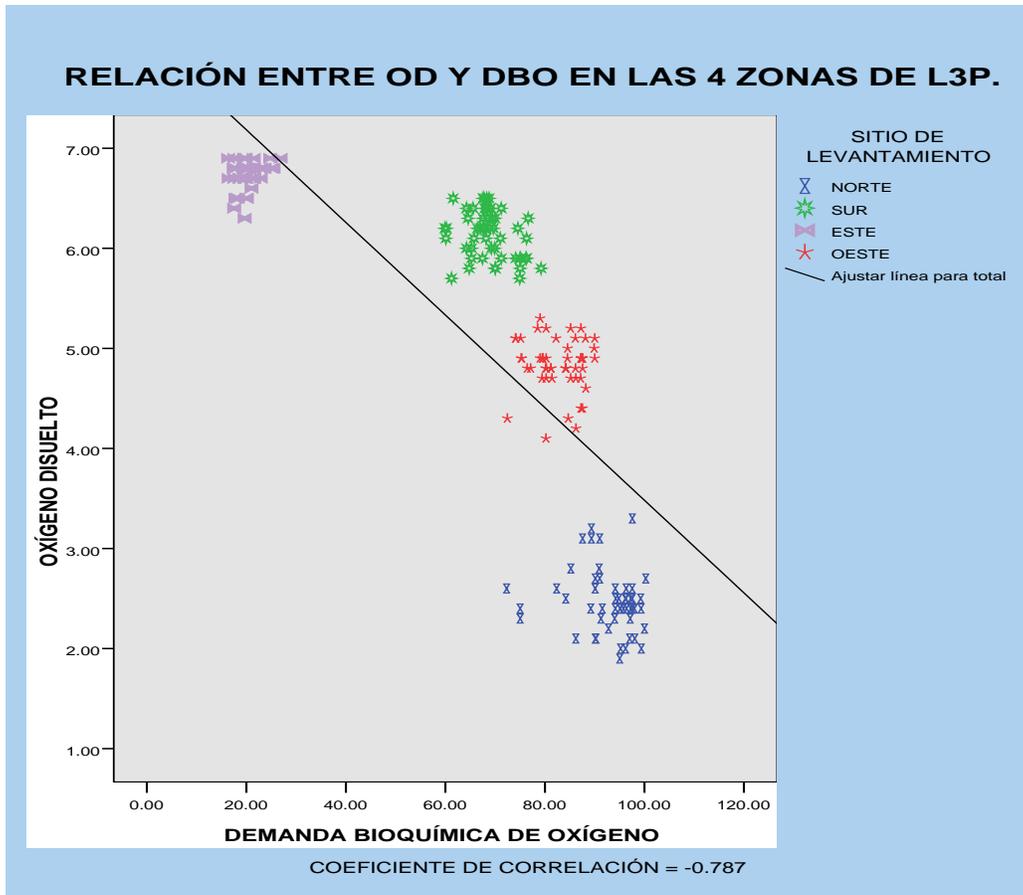


Figura 24. Relación entre OD y DBO₅ en las 4 zonas de L3P
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

En relación a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, las Zonas Norte, Oeste y Sur, presentan contaminación alta y sólo la zona Este presenta baja concentración de contaminantes orgánicos, concluyendo que la zona Este representa el 8% área no contaminada y el 92% de la laguna presentan valores de DBO₅ que superan los límites máximos permisibles.

En base a la infraestructura utilizada para este estudio, y de acuerdo a los resultados obtenidos de DBO, específicamente en zonas Norte y Oeste, podemos concluir que si tenemos presencia de contaminantes de tipo orgánico, por silogismo, tenemos también contaminación de tipo inorgánica, por lo que se debe incorporar en futuras investigaciones la determinación de la DQO para tener la

cuantificación aproximada de la contaminación global que pueda tener sal momento de su muestreo y análisis la Laguna de Tres Palos.

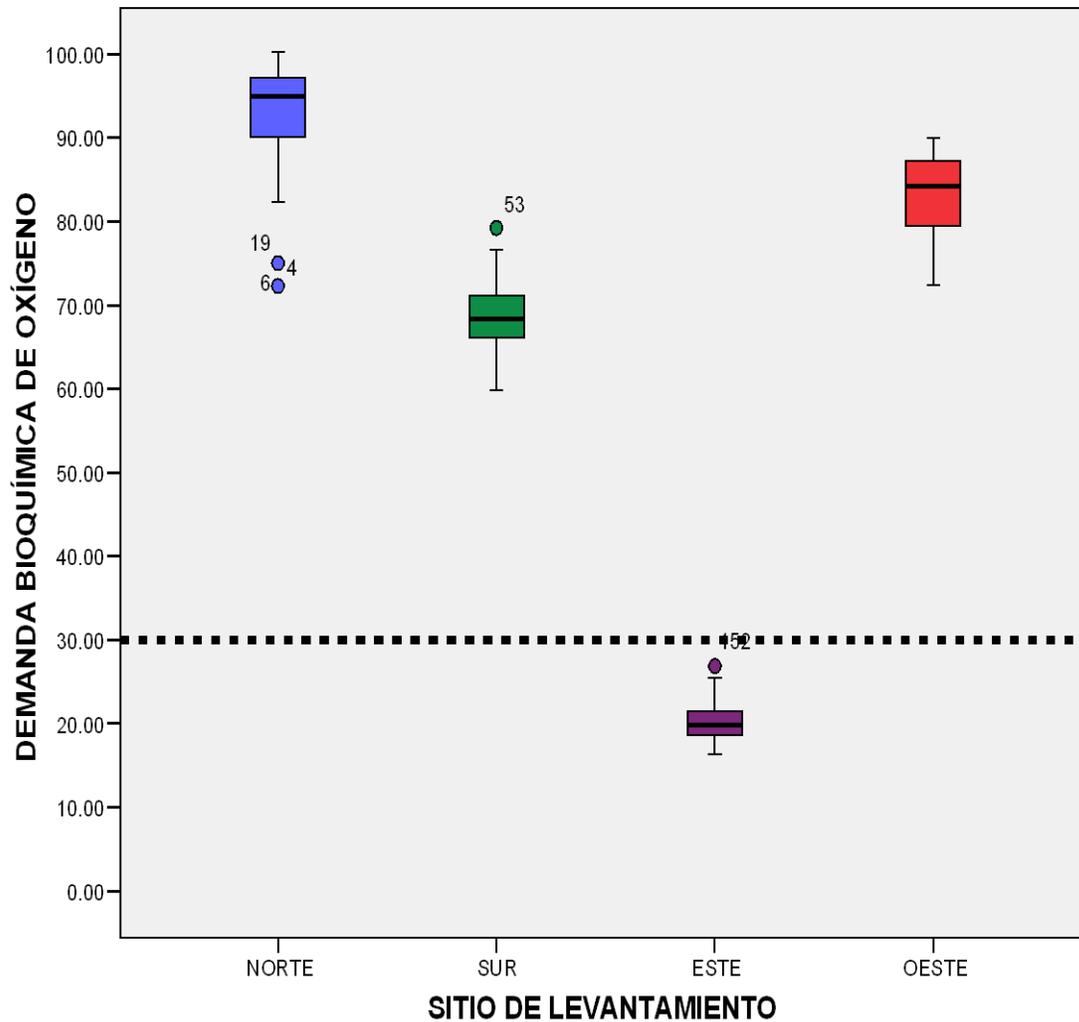


Figura 25. Diagrama de Cajas Comparativo, de DBO₅ en las 4 zonas de L3P.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

Nitritos

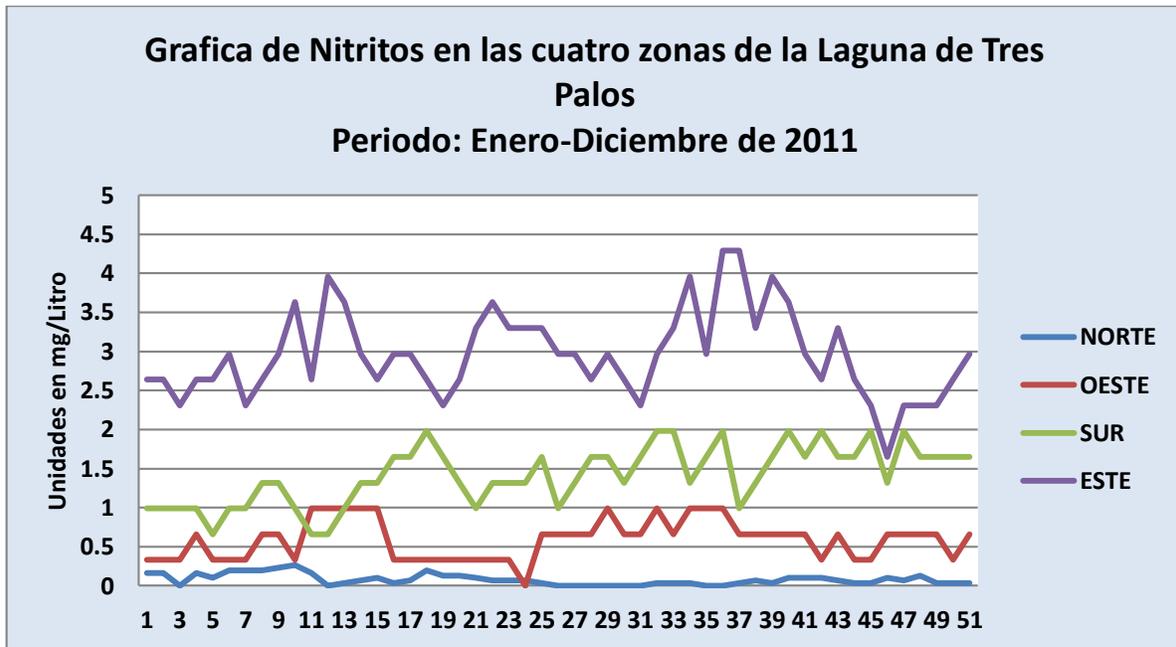


Figura 26. Gráfica de Nitritos, en las 4 zonas de L3P. Período Enero-Diciembre de 2011.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

En esta gráfica se observa que la zona que más concentraciones de Nitritos presentó durante las 52 semanas fue la Este. Este fenómeno es inversamente proporcional a lo que se presenta en Nitratos donde fue la zona con menos concentraciones detectadas y cuantificadas; este fenómeno se debe a que los Nitratos son una etapa intermedia para la obtención de los Nitritos en otras palabras los Nitritos son el sustrato para las bacterias *Nitrobacter* para la obtención del Nitrato.

En la zona Norte se observa con las menores concentraciones con respecto a las tres zonas restantes; en algunas semanas se reportaron valores de cero en Nitritos y directamente proporcional con los altos valores de Nitratos.

Las presencias de Nitritos es un indicador importante para conocer el estado de madurez de la contaminación presente; a la zona Este se puede concluir que por la carga de Nitritos que presenta, contiene contaminación baja o moderada en un estado donde las bacterias *Nitrobacter* no son factor de riesgo aún para la

producción de Nitratos, considerando también que existe en la zona concentraciones bajas de Demanda Bioquímica de Oxígeno además de concentraciones de oxígeno adecuados; elevaciones altas de DBO_5 puede ser factor para activar los ciclos metabólicos del carbono y del nitrógeno y esto puede tener como consecuencia un incremento de Nitratos así como la disminución del Oxígeno Disuelto así como la generación de elementos perjudiciales como Sulfuro de Hidrógeno entre otras sustancias nocivas.

Las zonas Oeste y sur contienen presencia de Nitritos y es proporcional al contenido de Nitratos. Las concentraciones de Nitritos pueden disminuir si siguen aumentando las concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno sumado a esto la proliferación de bacterias que oxidan la materia orgánica del carbono dando facilidad y origen al surgimiento de bacterias *Nitrobacter* que pueden reducir los Nitratos utilizando el Oxígeno Disuelto disponible.

Al igual que los Nitritos, no hay límites máximos permisibles establecidos por Normas Oficiales Mexicanas en materia de contaminación de cuerpos receptores o bienes nacionales; esto no significa que su presencia no sea nociva, al contrario su presencia en altas concentraciones pueden provocar graves daños al entorno ecológico de la laguna y su población.

Nitratos

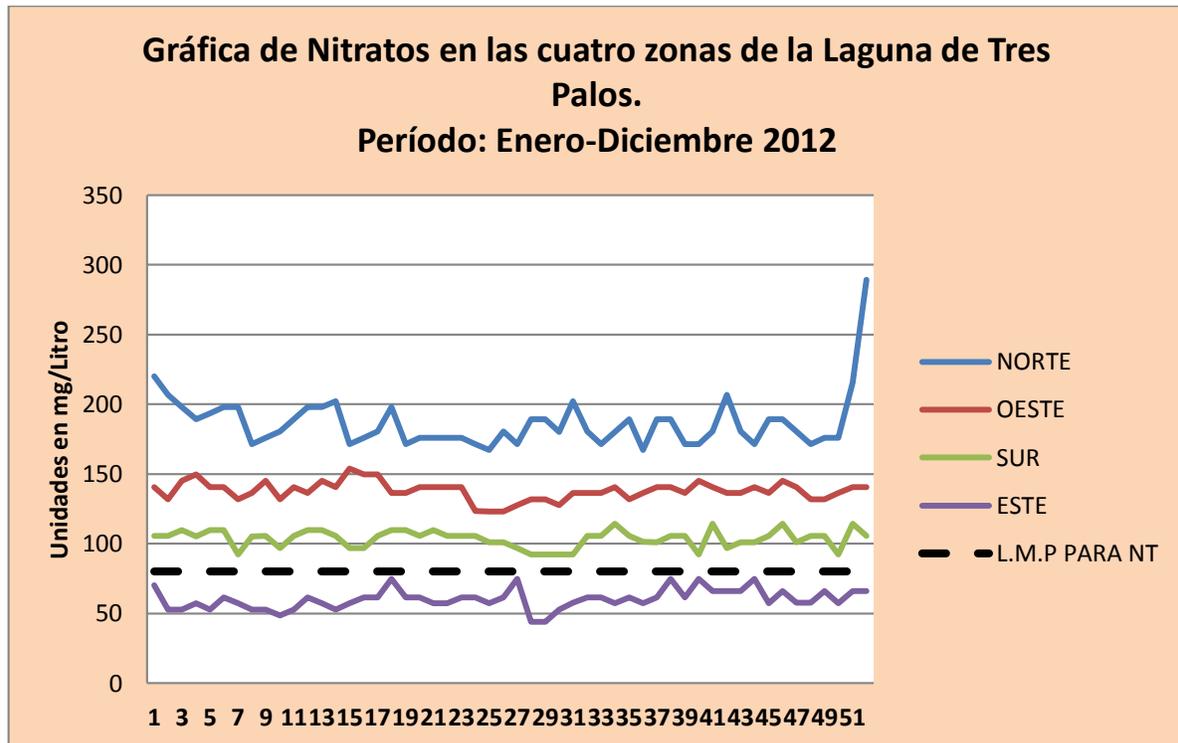


Figura 27. Gráfica de Nitratos, en las 4 zonas de L3P. Período Enero-Diciembre de 2011.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

La Figura 27 grafica las diferentes concentraciones de Nitratos presentes en las cuatro zonas de la laguna de Tres Palos. La zona Norte es la que presenta las mayores concentraciones de Nitratos durante las 52 semanas de estudio. Las altas concentraciones son indicadores de contaminación en estado avanzado; esto significa que para tener concentraciones de Nitratos, se tiene que pasar por la oxidación de proteínas, aminoácidos, amoniaco, nitritos y nitratos para completar el proceso oxidativo y reductivo del nitrógeno. En aguas residuales este proceso tiene duraciones largas de metabolismo; el ciclo del carbono es un proceso más sencillo que el ciclo del nitrógeno, lo que indica que los compuestos del ciclo del carbono ya fueron metabolizados, con duración aproximada de 7 a 10 días.

La formación de Nitratos suelen reducir considerablemente el Oxígeno Disuelto disponible. Las concentraciones de oxígeno disuelto en la zona Norte son las más bajas de la toda la laguna. De no reducir las concentraciones de Nitratos se puede perder el Oxígeno Disuelto al grado de provocar un colapso en el ecosistema de la

laguna. Por otro lado si los Nitratos y otros compuestos del nitrógeno se mezclan con compuestos del cloro; se tiene el riesgo de formar cloraminas y estos compuestos son peligrosos para el desequilibrio ecológico por su fuerte toxicidad para muchas especies acuáticas.

Las concentraciones de las otras zonas son inferiores en relación a la zona Norte donde se observa una mayor actividad del hombre y es el factor principal de que la laguna tiene valores elevados de Nitratos.

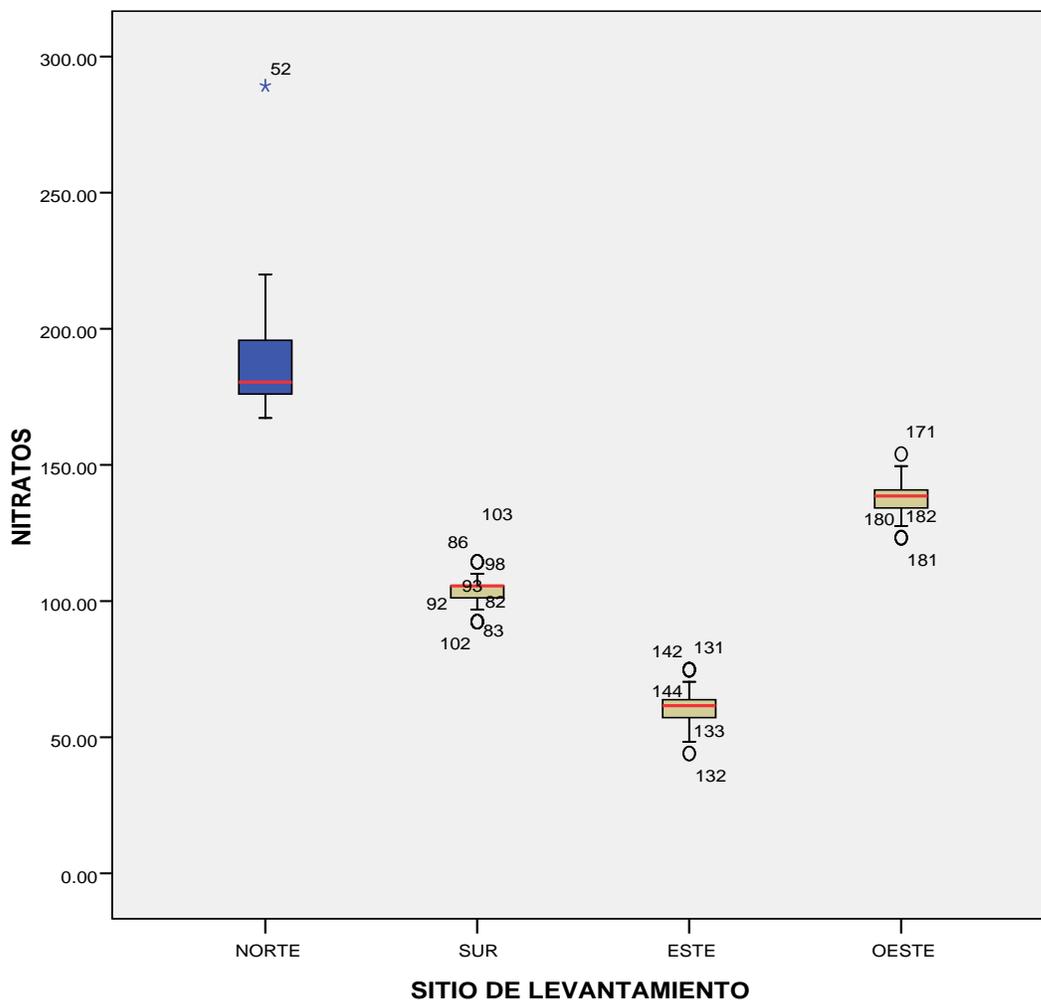


Figura 28. Diagrama de cajas Comparativo de Nitratos, en las 4 zonas de L3P.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

No existe Norma Oficial Mexicana en materia ecológica que indique algún límite máximo permisible para las concentraciones de Nitratos en cuerpos receptores; pero en cuanto a lo referente a nitrógeno total la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que en dicho parámetro, los límites máximos permisibles son de 80 mg/L.

Con este límite para Nitrógeno total podemos concluir que la presencia de Nitratos es mayor a los límites permisibles y que su nitrógeno total es aún más alto que los valores reportados para Nitratos. En la zona este, tiene algunos valores que superan los límites máximos permisibles para Nitrógeno total, aun así es baja con relación con las otras tres zonas de estudio.

Sulfatos

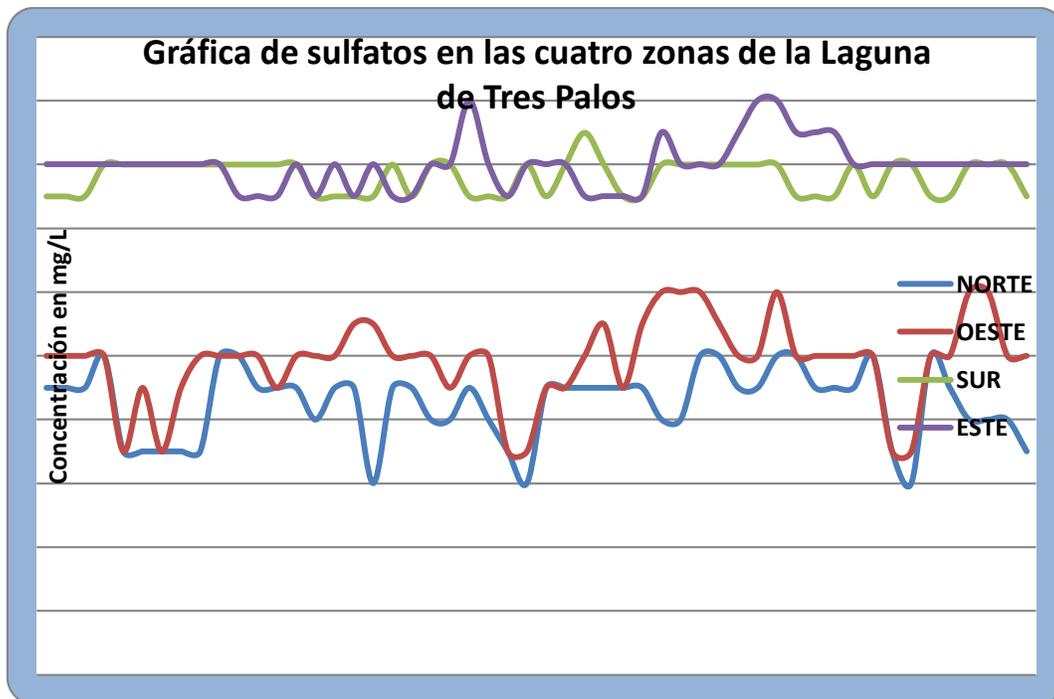
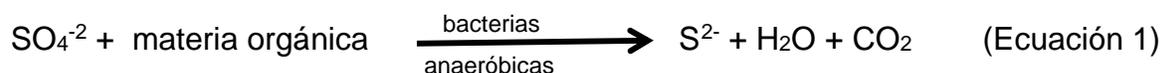


Figura 29. Gráfica de Sulfatos, en las 4 zonas de L3P. Período Enero-Diciembre de 2011. FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

La presencia de sulfatos en la laguna es natural ya que los iones sulfatos son de los más abundantes en las aguas naturales. Valores de Sulfatos por encima de 250 mg/L es perjudicial para la salud humana.

Los valores de Sulfatos que se encuentran en la laguna de Tres Palos son inferiores a los 90 mg/L lo que en ese sentido no existe problema alguno desde el punto de vista ambiental.

El problema en el presente estudio es que se tiene presencia de contaminación de materia orgánica principalmente en las zonas Norte y Oeste de la laguna, por lo que puede ser un grave riesgo para la producción del Sulfuro de Hidrógeno como a continuación se ilustra en las presentes ecuaciones:



Las condiciones de la laguna de Tres Palos son aeróbicas. La zona Norte tiene valores bajos de Oxígeno Disuelto por lo que resulta peligroso porque todo el Sulfato presente en la laguna puede ser reducido como se muestran en las gráficas anteriores en sulfuro de hidrógeno; la Materia Orgánica es parte fundamental en la reducción de los iones sulfatos; las zonas Norte y Oeste presentan altos contenidos de Demanda Bioquímica de Oxígeno y esto es un indicador de la presencia de contaminación por compuestos orgánicos.

Se observó también que las zonas Norte y Oeste presentan valores inferiores de Sulfato a los de las zonas Sur y Este; este hecho se explica por dos factores: el primero es que parte de la disminución de los Sulfatos se deba a la presencia de Sulfuro de Hidrógeno (en algunas semanas) y por otro lado por la influencia del

mar que puede dar un aporte natural de iones sulfatos, por lo que las zonas Sur y Este son las que tienen más cercanía al mar y que se puede constatar en los valores y gráficas obtenidos en Conductividad Eléctrica, porcentaje de Salinidad y Sólidos Disueltos Totales.

Sulfuro de hidrógeno

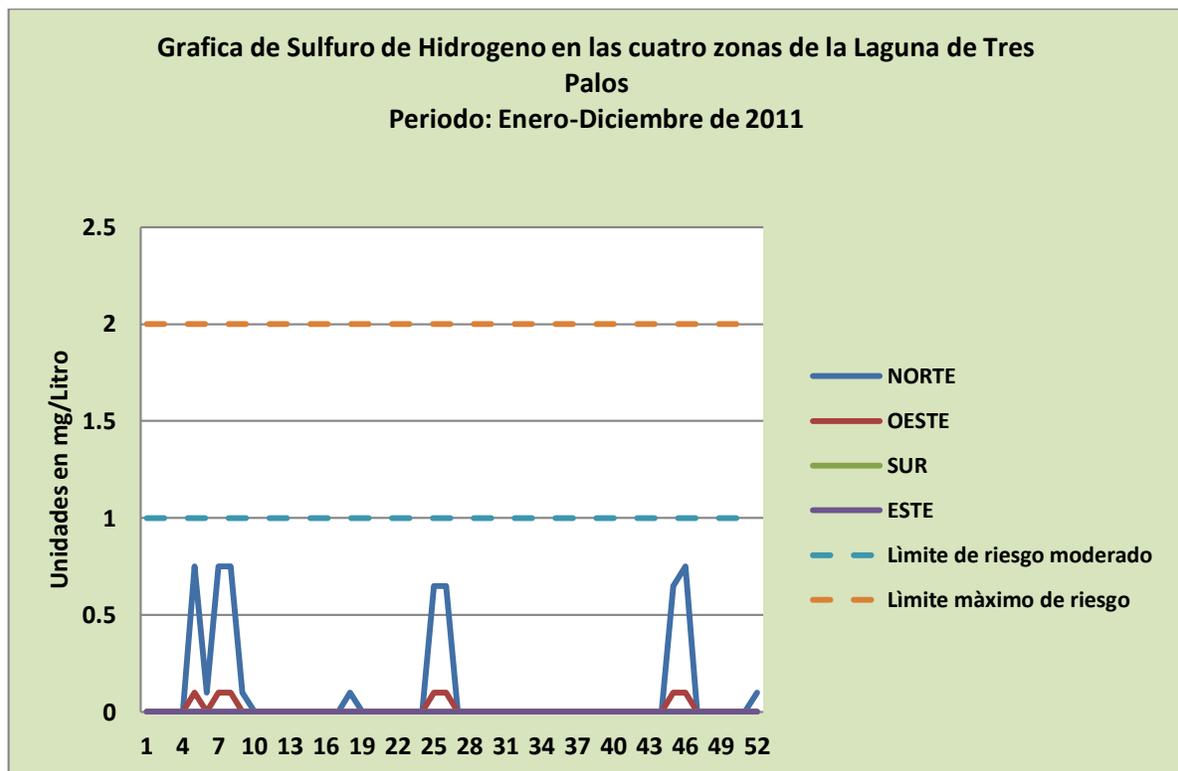


Figura 30. Gráfica de Sulfuros, en las 4 zonas de L3P.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

La presencia del Sulfuro de Hidrógeno es un indicador de contaminación y del grado de contaminación madura que tiene un cuerpo lagunar, con respecto al tiempo. Las bacterias sulfurosas son las responsables de producir el Sulfuro de Hidrógeno en presencia de Sulfato y en condiciones bajas de Oxígeno Disuelto, o anaerobias (sin presencia de oxígeno). Altos contenidos de Sulfuro de Hidrógeno provocan una disminución del pH hasta tener valores entre 1 a 3. Una de las características fundamentales de su presencia es su olor a huevo podrido.

Las zonas Norte y Oeste presentaron valores de Sulfuro de Hidrógeno en 8 y 10 semanas de muestreo respectivamente. Los valores son inferiores a 1 mg/L y tomando las referencia de Eckenfelder (1950), tratándose de valores de 1 a 2 mg/L, se clasifica como contaminación media y valores superiores a 2 mg/L, contaminación de alta peligrosidad. La peligrosidad no sólo es por su presencia sino por las bacterias que las producen que son microorganismos patógenos y que son dañinos para la salud.

En términos generales, la concentración del Sulfuro de Hidrógeno no se puede clasificar por dos factores principales: el primero es que siguiendo la referencia de Eckenfelder y por otro lado se tienen presencia de pH superiores a los 6.5; el aumento de las concentraciones Sulfuro de Hidrógeno es directamente proporcional con el aumento de la acidez y que se refleja con valores bajos de pH.

La presencia en la laguna de Tres Palos de los Sulfatos puede ser un factor de riesgo tomando en cuenta que los valores del Oxígeno Disuelto son bajos o nulos, pueden convertirse en materia prima para la obtención del Sulfuro de Hidrógeno.

Por otro lado las altas presencia en las zonas Norte, Oeste y Sur de Nitratos son factores peligrosos por el consumo del oxígeno que se requiere para la reducción de los Nitritos; indirectamente este fenómeno de reducción a Nitratos puede beneficiar las condiciones anaeróbicas de la polución de microorganismos patógenos que producen al Sulfuro de Hidrógeno o ácido sulfhídrico.

4.3 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA DE TRES PALOS

Un Índice de Calidad del Agua (ICA) es un número adimensional, comprendido entre 1-100, donde a mayor valor mejor es la calidad del recurso. Los parámetros incluidos en los ICA así como la definición de los rangos se han basado tradicionalmente en las curvas de distribución de las variables o en criterios biológicos en el caso del oxígeno disuelto o el pH (Peterson & Bogue, 1989). En este estudio la selección de las variables se realizó teniendo en cuenta los criterios generales del organismo ambiental de Estados Unidos, la EPA (Hallock, 1990; Cude, 2001) y métodos multivariados para la definición de los grupos de estaciones, a partir de los cuales se definieron los rangos de ponderación para cada clase.

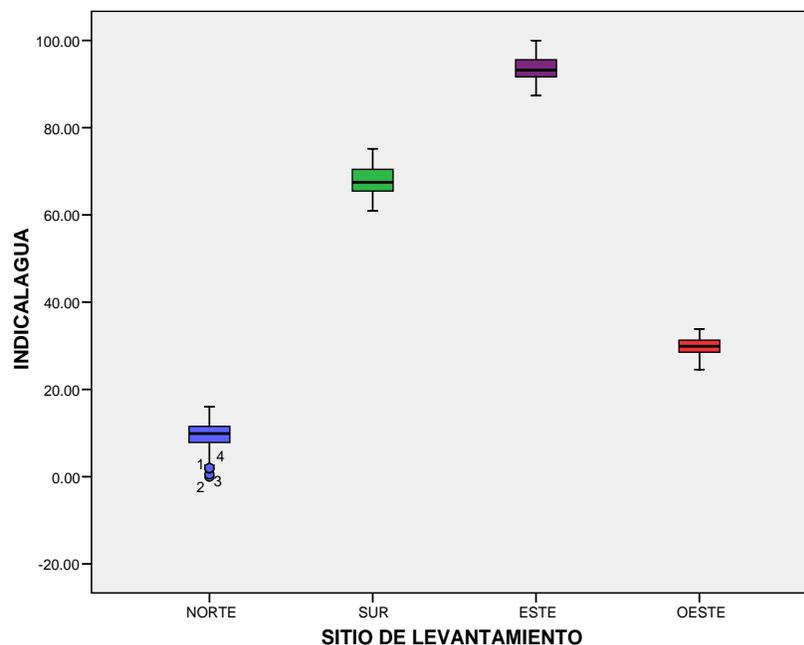


Figura 31. Diagrama de Cajas para el Índice de Calidad del Agua, en las 4 zonas de L3P.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

El índice de calidad del agua es muy bajo en el sitio norte, seguido del oeste. Los valores mayores corresponden al sur y este. Éste último está por arriba de 80%. Los cuatro sitios están completamente diferenciados en su nivel de calidad del agua.

4.4 INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Matriz de componentes

	Componente	
	1	2
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	.966	.061
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	.966	.061
NITRATOS	-.961	.000
OXÍGENO DISUELTO	.935	-.127
NITRITOS	.932	.127
pH	-.916	.153
DBO ₅	-.913	-.191
COLORO RESIDUAL	.058	-.748
SULFURO DE HIDRÓGENO	-.304	.569
TEMPERATURA °C	.174	.377

Método de extracción: Análisis de componentes principales, a 2 componentes extraídos

COMPONENTES PRINCIPALES PARA INDICE DE CALIDAD DEL AGUA

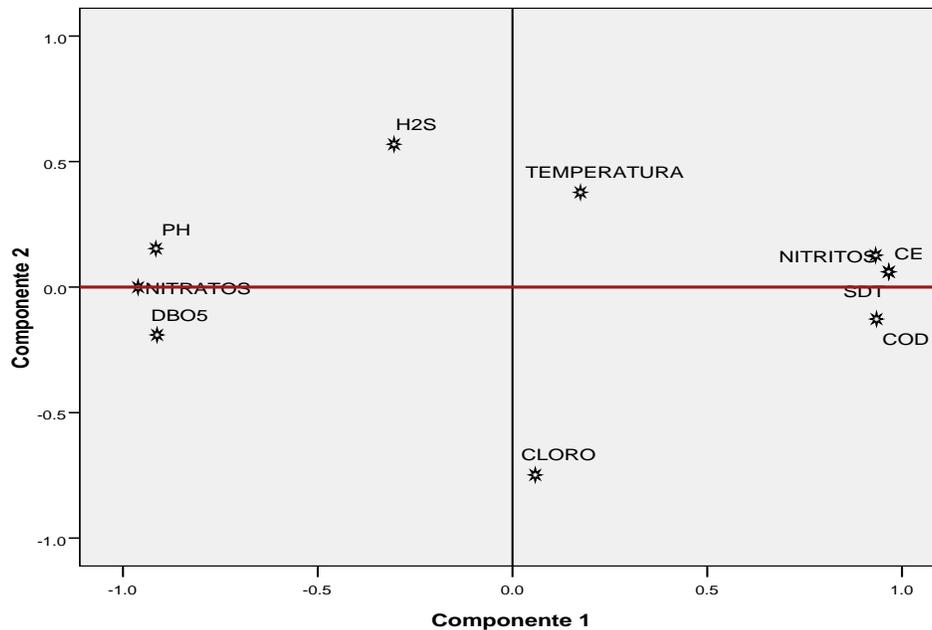


Figura 32. Análisis Estadístico de Componentes Principales en las 4 zonas de L3P.
 FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

Los valores de Nitritos, CE, SDT y OD afectan positivamente al ICA, mientras que el pH, Nitratos y DBO₅ lo hacen de manera negativa. La Temperatura no aporta al ICA, en tanto el Cloro y H₂S pueden formar otro índice independiente del ICA

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE EL OXÍGENO DISUELTO Y LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, EN LAS 4 ZONAS DE L3P.

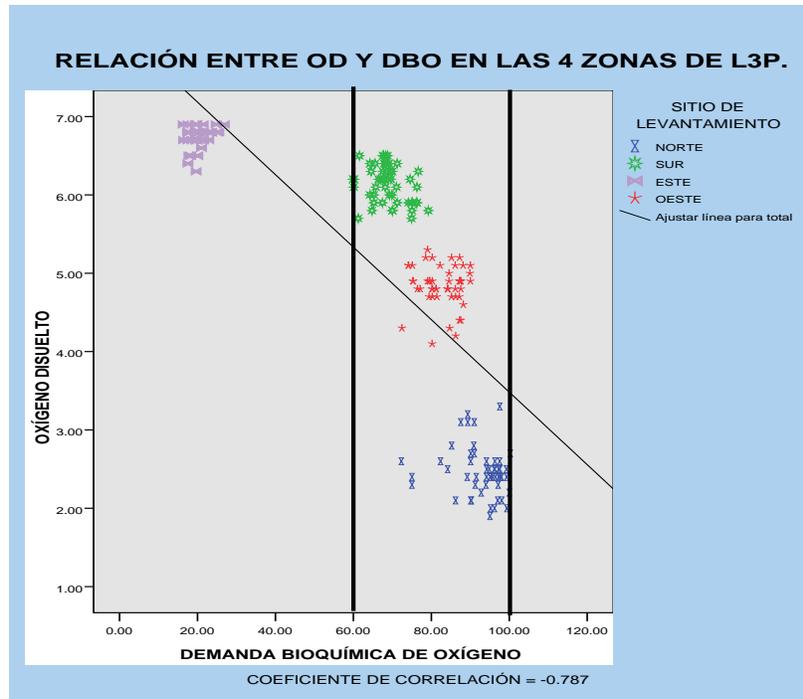


Figura 33. Coeficiente de Correlación entre el Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno, en las 4 Zonas de L3P.
FUENTE: Datos del Laboratorio de Suelos y Aguas de la UCDR. 2011.

Al aumentar la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el Oxígeno Disuelto es cada vez menor cuando se va del Este al Sur, Oeste y Norte.

Para un mismo rango de Demanda Bioquímica de Oxígeno, entre 60 y 100, el Oxígeno Disuelto va cada vez siendo menor en los sitios SUR, OESTE y NORTE en ese orden.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Laguna de Tres Palos presenta zonas de contaminación moderada y zonas de contaminación alta como consecuencia del desarrollo habitacional e industrial desordenado.

En tres de las cuatro zonas (Norte, Oeste y Sur) en que fue sectorizada la Laguna de Tres Palos para este estudio, se rebasan los límites máximos permisibles de acuerdo de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Este fenómeno ocasionaría migraciones de la vida acuática hacia las zonas de menores concentraciones de contaminantes, y condiciones óptimas de OD para el desarrollo de la vida. Si continúa esta tendencia, se tendrá una pérdida total del OD en la zona Norte, generación de Sulfuro de Hidrógeno, aumento de la acidez y afectación de la biodiversidad; por tanto la vida acuática de las zonas Sur y Este, se verá afectada por la influencia de los contaminantes de la zonas Norte y Oeste.

La presencia de Cloro Residual es un indicador de desinfección y eliminación de microorganismos patógenos. En la zona Sur se encuentra ubicada una PTAR con tratamiento por lodos activados, cuyos efluentes son clorados de manera continua (operando 24 hr) pudiendo influir en las zonas Sur y algún sector de la zona Oeste. Se esperaba que en las 52 semanas del presente estudio hubiera presencia de Cloro residual en la zona Sur, pero se obtuvieron sólo 11 muestras con presencia, lo cual indica que no es constante la dosificación del cloro en la PTAR mencionada.

Si los valores de Nitratos superan el límite máximo permisible del Nitrógeno Total, y siendo el Nitrato un componente del ciclo del nitrógeno, se pronostica que las concentraciones para Nitrógeno Total son superiores a los valores reportados en

este estudio. Debido a esto es necesario realizar posteriores trabajos de investigación para determinar la concentración del Nitrógeno Total, y hacer comparativos con la NOM.

Por otro lado se encuentran valores altos de Sulfatos, aunque no llegan a superar los límites máximos permisibles para consumo humano que es de 250 mg/L (Sawyer, 2001). El problema principal de la presencia de Sulfatos en la laguna se fundamenta en el hecho de que en una posible ausencia de Oxígeno Disuelto y de Nitratos, los Sulfatos sirven como fuente de oxígeno (o más correctamente, como aceptantes de electrones) para las oxidaciones bioquímicas por las bacterias anaeróbicas. En condiciones anaeróbicas, el ion sulfato se reduce a ion sulfuro, que establece el equilibrio con el ion hidrógeno para formar Sulfuro de Hidrógeno.

La concentración del Oxígeno Disuelto es abundante lo que permite que la laguna presente sus procesos biológicos y bioquímicos en condiciones aeróbicas. Los procesos aeróbicos usan oxígeno libre para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica y forman productos finales inocuos, mientras que los anaeróbicos llevan a cabo la oxidación mediante la reducción de algunas sales inorgánicas como sulfatos, y los productos generalmente son perjudiciales. Valores inferiores a los mostrados en los resultados de las zonas Norte y Oeste, pueden representar un grave peligro al entorno ecológico, de esas dos zonas. La presencia de Sulfatos en condiciones bajas de OD o anaeróbicas, pueden propiciar la generación de iones Sulfuro y Sulfuro de Hidrógeno, afectando el pH de la laguna, pasando de condiciones neutras a ácidas, con la consecuente acidificación del lago. Por otro lado, las condiciones anaeróbicas propician la generación de bacterias o microorganismos patógenos que son un peligro a la salud pública, y son factores de riesgo epidemiológicos.

Para aumentar las concentraciones de OD en las zonas afectadas (Norte y Oeste) se requerirá disminuir considerablemente las concentraciones de materia orgánica expresadas en DBO, con la finalidad de reducir el consumo de OD por procesos

metabólicos y químicos ajenos a los que son llevados comúnmente por medios naturales. Así mismo, la disminución de Nitratos tiene que ver directamente con la regulación

En la mayoría de los casos relacionados con la contaminación de una corriente, es deseable mantener las condiciones favorables para el crecimiento y la reproducción de la población de peces y de otros organismos. Estas condiciones requieren niveles de Oxígeno Disuelto en forma permanente para asegurar las condiciones saludables de la vida acuática.

La ausencia de Sulfuro de Hidrógeno indica que la laguna no presenta descomposición anaerobia de los Sulfatos, a pesar de que en parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno superan los límites máximos permisibles. Se concluye que la contaminación se encuentra en su etapa de degradación aerobia pero se corre el riesgo de llegar a etapas anaerobias lo que pudiera perjudicar gravemente el entorno.

A pesar que el río de La Sabana presenta altos grados de contaminación, concluimos que la contaminación tipo inorgánica en la Laguna de Tres Palos aún no es factor determinante. Sin embargo, si no se toman las medidas preventivas correspondientes se podrá estar afectando el ciclo ecológico de la laguna, por la recepción de aguas contaminadas con pH elevados, que destruyan la vida acuática, y provoquen alteraciones físico-químicas y biológicas desmedidas, en perjuicio del ecosistema de la laguna.

Estos estudios nos indican que se deberán en un futuro realizar otros parámetros analíticos (como la Demanda Química de Oxígeno, metales pesados, etc.) para profundizar y conocer mejor los efectos secundarios que tiene la laguna por las actividades cotidianas del ser humano.

Evaluar y cuantificar las repercusiones del Desarrollo Habitacional e Industrial Desordenado y el uso de la tierra en la calidad del agua de la Laguna de Tres Palos, exige un análisis completo de la situación y entender mejor los procesos físicos en cuestión.

Los costos de saneamiento se duplicarán en la medida del tiempo que se tarden en abordar este problema todos los actores involucrados (Sector Gubernamental, Sector Empresarial, Sector Académico, Investigadores, ONG's y Sociedad en General).

Para responder a problemas de la microcuenca RLS-L3P es necesario estudiar la escala de la misma, distinguir entre los riesgos naturales y los riesgos inducidos por el hombre, entender los procesos químicos y distinguir entre la contaminación de fuentes localizadas y no localizadas.

Se recomienda, a través de este estudio:

- Diseñar un programa de monitoreo continuo y permanente en la Laguna de Tres palos con la finalidad de observar las mejoras en los Índices de Contaminación. Deberá incluir programas de muestreos puntuales y compuestos para garantizar la calidad de recolección que aseguren la certidumbre y veracidad de sus resultados analíticos.
- Relacionar la Demanda Bioquímica con la Demanda Química de Oxígeno para establecer la relación y grado de contaminación orgánica e inorgánica.
- Involucrar a otras disciplinas como la Ecología, la Ingeniería Bioquímica, la Química Analítica, Biología etc. Esto para llevar programas integrales de investigación en beneficio de las decisiones correctas en la implementación de tecnologías de depuración de las aguas residuales que se vierten a la laguna de manera continua.
- Concientizar a la población mediante foros informativos como los Consejos de Cuenca para que se les informe de la importancia de cuidar del medio

ambiente y llegar a una conclusión de que cada individuo forma parte de la solución en la preservación de la laguna de Tres Palos.

- Participación de los tres niveles de gobierno, a través de sus organismos (CONAGUA, CAPASEG, CAPAMA) para la verificación, control e implementación de programas y tecnologías de depuración que sean utilizados en todos los sectores involucrados (industrial, pesquero, turístico, habitacional y público general) para la preservación de la laguna de Tres palos.
- Instalación de un sistema integral de alcantarillado, que abarque a todos los generadores de descargas de aguas residuales, con objeto de evitar el contacto directo de estos afluentes al cuerpo receptor que es la Laguna de Tres Palos.
- Las aguas serán canalizadas a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR, municipales y privadas) con el fin de reducir los niveles de contaminación orgánica e inorgánica, para verterse en forma confiable y sin riesgo alguno a la Laguna de Tres Palos, como cuerpo receptor de agua.
- Realización de muestreos compuestos de las descargas de las aguas residuales tratadas, con la finalidad de dar cumplimiento con los límites máximos permisibles de las condiciones particulares de descarga, según sea el caso, de acuerdo a lo dictaminado por la Ley Nacional de Aguas
- Ampliar el espectro analítico de mediciones tanto físico-químicas como microbiológicas, para tener un panorama completo, que deberán registrarse en bitácoras para que sirvan como antecedentes para posteriores estudios, como marco de referencia analítica comparativa.
- La Universidad Autónoma de Guerrero, a través de la UCDR, deberá crear un Laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación para aguas y suelos que cumpla con las normas internacionales de calidad 17025 con la finalidad de poseer métodos analítica y estadísticamente confiables.

- A Nivel Gubernamental Federal e Internacional deberán consultarse los lineamientos para la aplicación e interpretación de los Criterios en el **Marco Estratégico y Lineamientos para el desarrollo futuro de la Lista de Humedales de Importancia Internacional**, que está disponible en el sitio Web de Ramsar, en un esfuerzo por conservar la Laguna de Tres Palos, y declararla Área Natural Protegida por parte de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP/SEMARNAT).

Durante el desarrollo del presente trabajo de Tesis Doctoral se participó en diversos Foros relacionados con el tema de investigación:

- 18a Semana Nacional de Ciencia y Tecnología, octubre de 2011.
- Taller “Método ZOPP (Planificación de Proyectos Orientados a Objetivos)”, para la actualización del Instrumento de Gestión del Comité de Cuenca del Río La Sabana-Laguna de Tres Palos, con duración de 48 hs, los días 5, 6, 7, 26, 27, 28 de Octubre de 2011
- Participación en 5 Sesiones del Consejo de Cuenca de la Costa de Guerrero, celebradas durante el año 2011. SEMARNAT, UAG, CAPAMA, CONAGUA, CAPASEG.
- Foro de Estudios sobre Guerrero. Noviembre de 2011.
- 19a Semana Nacional de Ciencia y Tecnología, septiembre de 2012
- “2^{do} Taller para conservación y aprovechamiento sostenible del agua, para la mejora de la gestión hídrica” de los integrantes del Consejo de Cuenca de la Costa de Guerrero y sus órganos auxiliares, organizado por la CONAGUA y la UCDR-UAGro en Octubre de 2012.



CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWWA, WPCF, 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed., Washington, D. C. USA.

Barrera H., R. R., 1975. Contribución al conocimiento del plancton de la laguna de Tres Palos, Gro. Tesis de licenciatura. E.N.C.B. I.P.N. 69 p.

Chirinos, Alicia. Guarenas M., Alexander. Sánchez Díaz, Mariela. 2012. *Calidad del agua de los ríos. Laboratorio de Análisis de Agua*. Departamento de Química. Instituto Universitario de Tecnología Alonso Gamero. Coro-Falcón. Venezuela.

CONAGUA (2008a). Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua. Compendio informativo. México, 227 pp.

CONANP/SEMARNAT. <http://www.conanp.gob.mx/>

DGN, 2010. Dirección General de Normas. Dr. Francisco Ramos Gómez, Director General de Normas y Secretario Técnico de la Comisión Nacional de Normalización de la Secretaría de Economía. México.

Diego, P., N. y Lozada, L. P. 1994. No. 3 “Laguna de Tres Palos, en: *Estudios florísticos en Guerrero*. Diego P., N. y R. M. Fonseca (editores). Facultad de Ciencias, UNAM. Prensas de Ciencias. México.

Eckenfelder, W. W., 1950. *Industrial Water Pollution Control*. McGraw-Hill. Third edition, 1989. USA.

Forsberg, C., 1982. *Limnological research can improve and reduce the cost of monitoring and control of water quality*. Hydrobiologia January 1982, Volume 86, Issue 1-2, pp 143-146.

García, E., 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geología, UNAM, México.

Gil G., J. S. 1991. *La diversidad ictiológica y distribución de acuerdo a la salinidad en la laguna de Tres palos, Gro*. Tesis profesional. E.S.E.M., U.A.G.

Gil Guerrero, Jaime S., Garza Moreno, Nancy D. y Juárez López, Ana L. 2007. *Contaminación en la laguna de Tres Palos, Guerrero, México, con relación a la opinión y participación en actividades de carácter ambiental en las comunidades pesqueras*. pp. 403-428.

Guzmán A., M., 1987. *Biología, ecología y pesca del langostino *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871), en lagunas costeras del estado de Guerrero, México*. Tesis doctoral. UNAM. 100 p.

Hansen H., A. M., 1982. *Estudio de la asociación entre el Cu (II) y la materia orgánica disuelta en el agua superficial de tres lagunas costeras*. Tesis de maestría. ICM y L. UNAM. 42 p.

Harris, D. C., 2009. *Análisis Químico Cuantitativo*. Sexta edición. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España.

Hernández Muñoz, Aurelio. 1990. *Depuración de Aguas Residuales*. Editorial Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Seignor. España. pp. 97-100.

Hurtado, J., (2000). ***Metodología de la investigación holística***. IUTP. Sypal. Caracas

INEGI. 1994. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Estadísticas del Medio Ambiente. México.

INEGI, 2001. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Síntesis de Resultados. INEGI 164 p. México

INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México

Lankford, R.R. 1977. *Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification*. pp. 182-215 In M. Wiley (ed.) *Estuarine Processes*. Academic, New York.

Manahan, Stanley E. 2007. *Introducción a la Química Ambiental*, Editorial UNAM-Reverté. México.

Masters, Gilbert M., Ela, Wendell P. 2008. *Introducción a la Ingeniería Medioambiental*. Edit. Pearson Prentice Hall. Editorial Pearson Prentice Hall. Madrid, España.

Mihelcic, 2008 *Field Guide to Environmental Engineering for Development Workers: Water, Sanitation, and Indoor Air* by James R. Mihelcic, Lauren M. Fry, Elizabeth A. Myre, Linda D published by American Society of Civil Engineers.

NMX-AA-007-SCFI-2000. Análisis de Agua - Determinación de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba (Cancela a la NMX-AA-007-1980).

NMX-AA-008-SCFI-2011. Análisis de Agua - Determinación del pH - Método de Prueba- (Cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2000).

NMX-EC-17025-IMNC-2006. Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración.

NOM-001-ECOL-1996. Norma Oficial Mexicana, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites Máximos Permisibles para contaminantes básicos en aguas residuales que se destinan a diversos cuerpos receptores.

NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 3 de junio de 1998 y entró en vigor el día 4 de junio de 1998.

NOM-127-SSA1-1994. "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

Organización Panamericana de la Salud, 1987. Guías para la Calidad del Agua Potable. Volumen 2. Publicación Científica No. 506. OPS/OMS. Washington, D.C. EUA.

Peterson R & Bogue B. 1989. Water Quality Index (Used in Environmental Assessments), EPA Region 10, Seattle WA.

Prescott, S. C. y Horwood, M. P., Sedwick's Principles of Sanitary Science and Public Health, The Macmillan Co., New Yoik, 1946.

Ramírez G., R., 1952. Estudio ecológico preliminar de las lagunas costeras cercanas a Acapulco, Gro. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 13: 199-218.

Ramsar sitio Web, en www.ramsar.org/key_guide_list2006_s.htm y en el Manual 14 del Juego de Herramientas de Ramsar en www.ramsar.org/lib/lib_handbooks2006_s.htm

Rojas Herrera, Agustín A., Chiappa Carrara Xavier, 2002. Hábitos alimenticios del flamenco *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en la costa de Guerrero, México Ciencias Marinas, vol. 28, núm. 2, junio, 2002, pp. 133-147, Universidad Autónoma de Baja California, México.

Romero Rojas, Jairo Alberto, 1999. *Tratamiento de Aguas Residuales por lagunas de estabilización*. 3ª Edición. Editorial Alfaomega. Bogotá Colombia.

Salgado, Carlos (2005), Políticas urbanas de Acapulco 1927-1997, México, Universidad Autónoma de Guerrero, Gobierno del Estado de Guerrero.

Sawyer, Clair N., Mc Carty, Perry L., Parkin, Gene F, 2001. *Química para Ingeniería Ambiental*. 4ª Edición. Editorial Mc Graw Hill. Bogotá Colombia.

Secretaría de Recursos Hidráulicos, SRH, 1971. Dirección General de Agua potable y Alcantarillado. Dirección de Fuentes de Abastecimiento, Primera etapa del Estudio Geohidrológico para la zona de Tres Palos-La Sabana, Guerrero.

SEMARNAT (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 21 de septiembre de 1998.

SPSS, v.15, 2006. (**Statistical Product and Service Solutions**). Anteriormente *Statistical Package for the Social Sciences*.

Tortorelli, María del Carmen. 2009. *Ríos de la vida*. Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Saavedra 789. C1229ACE. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina.

Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional, UCDR, 2009. *Los retos del desarrollo en Acapulco*. América Rodríguez Herrera, José Luis Rosas Acevedo, Dulce María Quintero Romero y Manuel Ruz Vargas. Acapulco, Guerrero, México.

Villanueva Méndez M.A. 2005. Caracterización Molecular y Bioquímica de PvRACK1. Proceedings (in extenso) of the XIVth Congress of Bioenergetics and Biomembranes. Sociedad Mexicana de Bioquímica A.C. 13-18th November; Oaxaca, Oaxaca, México, pp. 1-7.

Violante G., J. y A. Méndez O., 2002. Caracterización y estructura de la comunidad de parásitos metazoarios de *Dormitator latifrons* (popoyote) en dos lagunas costeras del estado de Guerrero, México. **Res. VIII Congreso Nacional de Ictiología**. Puerto Ángel, Oax. Nov. 18-22.

Vollenweider, R. 1975. "Input-Output Models with Special Reference to the Phosphorus Loading Concept in Limnology." Schweiz. Z. Hydrolo 37: 53-83.

Wright L.D., y A.D. Short, 1984. Morphodynamics variability of surf zones and beaches, a synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.

Yáñez-Arancibia, A., 1978. *Taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces en las lagunas costeras con bocas efímeras del Pacífico de México*; An. Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México.

Yáñez-Arancibia, A., 1981. The occurrence, diversity, and abundance of fishes in two tropical coastal lagoons with ephemeral inlets on the pacific coast of Mexico. ***Proc. Sem. Duke Univ. Lab. Beaufort NC, U.S.A.*** Aug. 1978, UNESCO-IABO. ***UNESCO Tech. Pap. Mar. Sci. 33***: 233-260.



ANEXO A. TABLAS DE DATOS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS
TEMPERATURA (°C)

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	31.2	31.1	29.8	29.8
2	28.9	29.9	30.0	30.1
3	29.2	29.0	29.1	29.2
4	29.8	29.9	30.1	30.2
5	31.7	31.6	31.7	31.8
6	29.6	29.8	29.9	30.0
7	31.4	31.2	31.0	31.6
8	28.3	28.3	28.5	28.9
9	29.4	29.4	29.5	29.6
10	29.5	29.4	29.7	29.8
11	28.9	29.0	29.2	29.4
12	31.1	31.2	31.4	31.5
13	30.2	30.0	29.9	30.4
14	30.2	30.4	30.4	30.7
15	30.2	30.4	30.4	30.7
16	27.1	27.2	27.6	27.7
17	28.1	28.2	28.1	28.3
18	29.3	29.4	29.1	29.6
19	29.4	29.5	29.9	30.0
20	30.1	30.4	30.7	30.9
21	30.4	30.5	30.7	30.7
22	30.5	30.6	30.9	31.0
23	31.0	31.2	31.5	31.7
24	30.9	31.1	31.2	31.6
25	30.8	30.9	30.9	31.1
26	30.7	30.8	30.9	30.9
27	29.8	29.8	29.9	29.9
28	29.8	29.7	29.6	30.0
29	29.7	29.8	29.9	30.1
30	30.1	30.3	30.4	30.5
31	30.5	30.7	30.8	31.0
32	30.4	30.5	30.6	30.7
33	30.4	30.6	30.6	30.3
34	30.5	30.6	30.8	30.9
35	30.6	30.7	30.8	31.0
36	30.7	30.8	30.8	31.0
37	29.9	29.9	30.0	30.1
38	29.8	29.9	30.2	30.2
39	29.7	29.6	29.4	29.8
40	30.0	30.4	30.5	30.6
41	29.8	30.0	30.1	30.2
42	31.0	31.1	31.4	31.5
43	30.4	30.5	30.7	30.9
44	29.2	29.5	29.7	29.7
45	30.0	30.0	30.4	30.5
46	31.0	31.4	31.5	31.7
47	30.9	31.1	31.3	31.6
48	30.7	30.4	30.9	31.0
49	29.8	29.9	30.2	30.6
50	31.0	31.1	31.5	31.7
51	31.1	29.0	31.4	31.5
52	29.9	30.0	30.2	30.5

pH

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	9.2	8.5	6.6	6.9
2	8.9	8.5	6.4	6.8
3	9.1	8.6	6.2	6.7
4	9.0	8.4	6.5	5.4
5	9.0	8.6	6.6	7.1
6	9.2	8.3	6.3	7.3
7	9.2	8.4	7.5	7.2
8	9.1	8.7	6.7	7.1
9	9.2	8.5	6.7	7.0
10	9.2	8.6	6.6	7.1
11	9.2	8.9	6.5	6.9
12	9.3	9.8	7.2	6.8
13	9.3	8.4	6.6	7.2
14	9.2	8.5	6.9	7.3
15	9.5	8.6	6.7	6.9
16	9.1	8.4	6.8	6.8
17	9.4	8.3	6.9	6.9
18	9.0	8.1	6.9	6.9
19	9.1	8.4	7.0	7.2
20	8.9	8.4	7.1	7.1
21	8.8	8.5	6.9	6.9
22	9.2	8.5	7.2	6.7
23	9.1	8.5	6.5	6.8
24	9.2	8.3	6.8	6.9
25	9.0	8.4	6.7	7.1
26	9.1	8.6	6.5	7.2
27	9.0	8.5	6.8	6.7
28	9.0	8.4	6.4	6.9
29	9.2	8.7	6.5	6.8
30	9.2	8.2	6.4	6.7
31	9.4	8.5	6.4	6.9
32	9.2	8.4	6.5	7.1
33	9.1	8.6	6.8	7.2
34	9.2	8.5	6.7	7.3
35	9.4	8.6	6.8	7.1
36	9.4	8.5	6.4	6.9
37	9.5	8.6	6.8	6.9
38	9.1	8.4	6.9	6.9
39	9.2	8.4	6.4	7.1
40	9.2	8.3	6.9	7.1
41	9.1	8.4	6.7	6.9
42	9.5	8.5	7.1	7.2
43	9.1	8.6	6.8	7.1
44	9.2	8.4	6.7	6.9
45	9.1	8.2	6.7	6.8
46	9.0	8.6	6.8	6.9
47	9.0	8.4	6.9	7.1
48	9.2	8.2	7.1	7.2
49	9.1	7.9	7.2	7.3
50	9.2	8.4	7.2	7.4
51	9.1	8.5	7.1	6.9
52	9.0	8.5	7.0	6.9

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S/cm}$)

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	1484	1256	24659	32411
2	1402	1276	21450	38667
3	1387	1238	26876	35886
4	1390	1300	23222	35448
5	1401	1220	26723	34899
6	1405	1354	25870	37500
7	1409	1398	26120	36122
8	1489	1289	25980	35980
9	1430	1242	25112	37500
10	1402	1277	26743	37500
11	1387	1234	26990	34900
12	1386	1287	23112	34900
13	1399	1211	24700	34765
14	1409	1200	24795	33708
15	1476	1278	27890	32199
16	1475	1287	26450	35865
17	1395	1300	27420	34112
18	1394	1296	23412	32000
19	1425	1299	23895	34608
20	1428	1224	28590	35600
21	1400	1276	28600	34100
22	1386	1209	27367	32780
23	1350	1305	27000	33100
24	1367	1278	28320	34688
25	1400	1265	25777	32880
26	1380	1256	2580	33770
27	1430	1276	24110	32009
28	1420	1275	26289	32441
29	1456	1199	24628	35809
30	1364	1232	28367	34780
31	1478	1290	27557	34600
32	1354	1287	26410	35129
33	1359	1254	28315	36000
34	1327	1267	26515	36102
35	1350	1198	28621	37789
36	1350	1202	25907	34080
37	1400	1265	26001	30110
38	1430	1278	27640	33770
39	1468	1290	21870	33132
40	1423	1297	27549	35480
41	1453	1300	24288	36102
42	1432	1320	26709	32200
43	1429	1290	25500	31000
44	1423	1211	23809	34872
45	1465	1234	26821	35770
46	1396	1205	25523	33660
47	1389	1217	26842	36500
48	1403	1289	27812	33607
49	1351	1265	24009	34700
50	1470	1290	26012	34800
51	1457	1292	27000	31500
52	1458	1291	27000	34800

SALINIDAD (%)

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	0.9	1.0	2.0	2.2
2	1.0	1.1	2.0	2.2
3	1.0	1.1	2.0	2.2
4	1.0	1.1	2.0	2.2
5	1.0	1.0	2.0	2.3
6	1.0	1.0	2.0	2.2
7	1.0	1.0	2.0	2.2
8	0.9	1.0	2.0	2.2
9	1.1	1.0	2.0	2.2
10	1.1	1.0	2.0	2.2
11	1.1	1.0	2.0	2.2
12	0.9	1.0	2.0	2.0
13	0.9	1.0	2.0	2.1
14	1.1	1.0	2.0	2.1
15	1.1	1.0	2.1	2.3
16	1.1	1.0	2.1	2.3
17	1.2	1.3	2.1	2.3
18	0.9	1.1	2.0	2.3
19	1.0	1.1	2.0	2.1
20	1.0	1.1	2.0	2.2
21	1.0	1.1	2.0	2.1
22	1.0	1.1	2.0	2.1
23	1.0	1.1	2.0	2.2
24	1.0	1.1	2.0	2.2
25	1.0	1.0	2.0	2.2
26	1.0	1.1	2.0	2.3
27	1.2	1.2	2.1	2.3
28	1.2	1.2	1.9	2.3
29	1.2	1.2	1.9	2.1
30	1.0	1.2	2.1	2.2
31	1.3	1.1	2.2	2.3
32	1.0	1.2	2.1	2.3
33	0.9	1.3	2.0	2.3
34	0.9	1.2	2.1	2.2
35	1.0	1.3	2.1	2.2
36	0.9	1.2	2.1	2.2
37	0.9	1.1	2.0	2.2
38	1.0	1.1	2.0	2.2
39	1.1	1.1	2.0	2.1
40	1.1	1.1	2.0	2.2
41	0.9	1.0	2.0	2.3
42	0.9	1.1	2.1	2.3
43	1.0	1.0	2.2	2.2
44	1.0	1.2	2.3	2.3
45	1.0	1.1	2.3	2.4
46	1.1	1.1	2.0	2.4
47	1.1	1.2	2.0	2.3
48	1.0	1.1	2.0	2.2
49	1.0	1.2	2.1	2.4
50	1.1	1.3	2.2	2.3
51	1.1	1.1	2.3	2.2
52	0.9	1.2	2.1	2.3

MATERIA FLOTANTE

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
2	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
3	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
4	PRESENCIA	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE
5	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
6	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
7	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
8	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
9	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
10	PRESENCIA	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE
11	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
12	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
13	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
14	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
15	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
16	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
17	PRESENCIA	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE
18	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
19	AUSENTE	AUSENTE	PRESENCIA	AUSENTE
20	AUSENTE	PRESENCIA	PRESENCIA	AUSENTE
21	AUSENTE	PRESENCIA	PRESENCIA	AUSENTE
22	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
23	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
24	PRESENCIA	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE
25	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
26	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
27	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
28	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
29	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
30	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
31	AUSENTE	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE
32	AUSENTE	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE
33	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
34	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
35	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
36	AUSENTE	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE
37	AUSENTE	AUSENTE	PRESENCIA	AUSENTE
38	PRESENCIA	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE
39	PRESENCIA	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE
40	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
41	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
42	PRESENCIA	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE
43	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
44	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
45	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
46	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
47	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
48	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
49	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
50	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
51	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
52	PRESENCIA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
Total Ausencia	27	40	48	52
Total Presencia	25	12	4	0

OXÍGENO DISUELTO (mg/L)

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	2.1	4.8	5.8	6.5
2	2.8	4.9	5.9	6.8
3	2.7	4.8	5.9	6.9
4	2.6	4.9	6.1	6.7
5	2.1	4.9	5.8	6.7
6	2.3	4.9	5.9	6.8
7	2.0	5.1	5.9	6.5
8	2.0	4.8	5.7	6.7
9	2.0	4.7	5.9	6.8
10	2.1	4.8	5.9	6.7
11	2.1	4.7	6.0	6.8
12	1.9	4.7	6.1	6.5
13	2.4	4.7	6.0	6.7
14	2.6	5.1	5.8	6.8
15	2.4	5.2	5.7	6.9
16	2.5	5.2	5.9	6.5
17	2.6	4.3	5.8	6.4
18	2.4	4.1	6.0	6.3
19	2.4	4.2	6.1	6.5
20	2.5	4.3	6.2	6.8
21	2.6	4.4	6.2	6.8
22	2.4	4.6	6.3	6.8
23	2.5	4.4	6.4	6.7
24	2.2	4.8	6.3	6.8
25	2.3	4.8	6.2	6.9
26	2.2	4.8	6.4	6.8
27	2.3	4.9	6.5	6.7
28	2.3	4.9	6.2	6.8
29	2.4	5.0	6.3	6.8
30	2.5	5.1	5.9	6.7
31	2.1	4.9	5.8	6.8
32	2.5	4.9	6.1	6.7
33	2.5	4.9	6.2	6.6
34	2.4	5.1	6.3	6.9
35	2.4	5.1	6.4	6.8
36	2.5	5.0	6.5	6.7
37	2.6	4.9	6.4	6.8
38	2.5	4.8	6.2	6.9
39	2.7	4.7	6.3	6.7
40	2.4	4.9	6.4	6.8
41	2.6	5.1	6.5	6.9
42	2.4	5.2	6.4	6.7
43	2.5	6.3	6.2	6.8
44	2.4	4.9	6.4	6.8
45	2.4	4.8	6.3	6.9
46	2.7	4.8	6.5	6.8
47	2.8	4.9	6.4	6.8
48	3.1	4.7	6.5	6.9
49	3.2	4.8	6.1	6.7
50	3.3	4.9	6.2	6.7
51	3.1	5.1	6.2	6.8
52	3.1	5.2	6.0	6.7

COLORO RESIDUAL (mg/L)

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.2	1.0	0.0
3	0.0	0.0	1.0	0.0
4	0.0	0.5	0.8	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.2	0.0	0.0
10	0.0	0.5	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.5	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.5	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.5	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.2	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.5	1.5	0.0
24	0.0	0.5	1.2	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	1.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	0.0	1.0	0.0
31	0.0	0.0	0.0	0.0
32	0.0	0.0	0.0	0.0
33	0.0	0.5	0.0	0.0
34	0.0	0.0	0.0	0.0
35	0.0	1.0	0.0	0.0
36	0.0	0.0	1.5	0.0
37	0.0	0.0	0.0	0.0
38	0.0	0.0	0.0	0.0
39	0.0	0.0	0.0	0.0
40	0.0	0.0	0.0	0.0
41	0.0	0.0	1.0	0.0
42	0.0	0.0	0.0	0.0
43	0.0	0.0	1.0	0.2
44	0.0	0.5	1.0	0.0
45	0.0	0.0	1.0	0.1
46	0.0	0.0	0.0	0.0
47	0.0	0.0	0.0	0.0
48	0.0	0.0	0.0	0.0
49	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	0.0	0.0
51	0.0	0.0	0.0	0.0
52	0.0	0.0	0.0	0.0

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT) mg/L

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	667.80	565.20	11096.55	14584.95
2	630.90	574.20	9652.50	17400.15
3	624.15	557.10	12094.20	16148.70
4	625.50	585.00	10449.90	15951.60
5	630.45	549.00	12025.35	15704.55
6	632.25	609.30	11641.50	16875.00
7	634.05	629.10	11754.00	16254.90
8	670.05	580.05	11691.00	16191.00
9	643.50	558.90	11300.40	16875.00
10	630.90	574.65	12034.35	16875.00
11	624.15	555.30	12145.50	15705.00
12	623.70	579.15	10400.40	15705.00
13	629.55	544.95	11115.00	15644.25
14	634.05	540.00	11157.79	15168.60
15	664.20	575.10	12550.50	14489.55
16	663.75	579.15	11902.50	16139.25
17	627.75	585.00	12339.00	15350.40
18	627.30	583.20	10535.40	14400.00
19	641.25	584.55	10752.75	15573.60
20	642.60	550.80	12865.50	16020.00
21	630.00	574.20	12870.00	15345.00
22	623.70	544.05	12315.15	14751.00
23	607.50	587.25	12150.00	14895.00
24	615.15	575.10	12744.00	15609.60
25	630.00	569.25	11599.65	14796.00
26	624.15	565.20	11691.00	15196.50
27	643.50	574.20	10849.50	14404.05
28	639.00	573.75	11830.05	14598.45
29	655.20	539.55	11085.60	16114.05
30	613.80	554.40	12765.15	15651.00
31	665.10	580.50	12400.65	15570.00
32	609.30	579.15	11884.50	15808.05
33	611.55	564.30	12741.75	16200.00
34	597.15	570.15	11931.75	16245.90
35	607.50	539.10	12879.45	17005.05
36	607.50	540.90	11658.15	15336.00
37	630.00	569.25	11700.45	13549.50
38	643.50	575.10	12438.00	15196.50
39	660.60	580.50	9845.50	14909.40
40	640.35	583.65	12397.05	15966.00
41	653.85	585.00	10929.60	16245.90
42	644.40	594.00	12019.05	14490.00
43	643.05	580.50	11475.00	13950.00
44	640.35	544.95	10714.05	15692.40
45	659.25	555.30	12069.45	16096.50
46	628.20	542.25	11485.35	15147.00
47	625.05	547.65	12078.90	16425.00
48	631.35	578.70	12515.40	15123.15
49	607.95	569.25	10804.05	15615.00
50	661.50	580.50	11705.40	15660.00
51	655.65	581.40	12150.00	14175.00
52	656.10	580.95	12150.00	15660.00

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅) mg/L

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	90.23	81.23	79.23	18.23
2	85.21	84.54	74.14	19.42
3	100.27	86.14	76.32	17.56
4	72.3	80.26	71.04	17.62
5	86.21	79.56	75.03	17.56
6	75.02	79.47	75.14	19.56
7	96.20	75.12	75.98	20.01
8	95.21	81.21	74.92	21.26
9	99.37	80.23	76.16	20.25
10	98.06	80.14	71.24	19.89
11	97.03	85.18	65.26	19.97
12	95.04	87.18	68.17	18.23
13	99.32	86.23	69.23	16.42
14	90.10	88.14	64.78	19.84
15	89.21	85.16	61.23	16.32
16	96.20	80.23	65.24	17.78
17	97.54	84.68	70.01	17.54
18	96.40	80.21	69.89	19.65
19	75.02	86.24	65.74	20.09
20	84.20	72.45	67.66	21.45
21	82.35	87.23	66.45	25.04
22	94.15	88.21	68.45	23.54
23	96.28	87.54	69.08	21.45
24	92.78	87.56	64.56	20.46
25	91.26	84.23	69.64	19.86
26	100.01	84.21	665.56	19.54
27	97.14	87.26	61.56	19.87
28	94.02	87.56	67.00	19.65
29	95.14	89.90	69.98	17.46
30	96.18	90.01	67.45	18.65
31	90.15	90.01	70.01	19.56
32	94.23	87.26	76.32	19.65
33	94.86	87.54	74.56	21.03
34	95.12	86.12	76.65	19.62
35	97.99	82.23	71.23	20.52
36	97.26	84.56	68.29	19.65
37	94.14	87.23	69.04	17.90
38	97.57	84.14	68.94	19.56
39	90.12	81.42	67.56	21.25
40	95.78	79.56	64.23	22.89
41	96.32	74.12	67.77	21.47
42	97.59	78.54	68.28	21.59
43	99.25	79.03	67.95	23.46
44	97.23	75.34	68.26	23.65
45	91.53	76.45	69.45	24.80
46	91.02	77.12	67.56	25.46
47	90.89	75.23	67.89	25.12
48	87.56	79.42	68.79	26.89
49	89.35	80.29	60.09	19.65
50	97.57	79.03	59.89	19.65
51	91.02	74.12	60.21	17.54
52	89.35	87.23	64.23	22.89

NITRITOS (mg/L)

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	0.16	0.33	0.99	2.64
2	0.16	0.33	0.99	2.64
3	0.00	0.33	0.99	2.31
4	0.16	0.66	0.99	2.64
5	0.10	0.33	0.66	2.64
6	0.20	0.20	0.33	2.97
7	0.20	0.33	0.99	2.31
8	0.20	0.66	1.32	2.64
9	0.23	0.66	1.32	2.97
10	0.26	0.33	0.99	3.63
11	0.16	0.99	0.66	2.64
12	0.00	0.99	0.66	3.96
13	0.03	0.99	0.99	3.63
14	0.07	0.99	1.32	2.97
15	0.10	0.99	1.32	2.64
16	0.03	0.33	1.65	2.97
17	0.07	0.33	1.65	2.97
18	0.20	0.33	1.98	2.64
19	0.13	0.33	1.65	2.31
20	0.13	0.33	1.32	2.64
21	0.10	0.33	0.99	3.30
22	0.07	0.33	1.32	3.62
23	0.07	0.33	1.32	3.30
24	0.087	0.00	1.32	3.30
25	0.03	0.66	1.65	3.30
26	0.00	0.66	0.99	2.97
27	0.00	0.66	1.32	2.97
28	0.00	0.66	1.65	2.64
29	0.00	0.99	1.65	2.97
30	0.00	0.66	1.32	2.64
31	0.00	0.66	1.65	2.31
32	0.03	0.99	1.98	2.97
33	0.03	0.66	1.98	3.30
34	0.03	0.99	1.32	3.96
35	0.00	0.99	1.65	2.97
36	0.00	0.99	1.98	4.29
37	0.03	0.66	0.99	4.29
38	0.07	0.66	1.32	3.30
39	0.03	0.66	1.65	3.96
40	0.10	0.66	1.98	3.63
41	0.10	0.66	1.65	2.97
42	0.10	0.33	1.98	2.64
43	0.07	0.66	1.65	3.30
44	0.03	0.33	1.65	2.64
45	0.03	0.33	1.98	2.31
46	0.10	0.66	1.32	1.65
47	0.07	0.66	1.98	2.31
48	0.13	0.66	1.65	2.31
49	0.03	0.66	1.65	2.31
50	0.03	0.33	1.65	2.64
51	0.03	0.66	1.65	2.97
52	0.03	0.66	1.65	2.64

NITRATOS (mg/L)

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	220.0	140.8	105.6	70.4
2	206.8	132.0	105.6	52.8
3	198.0	145.2	110.0	52.8
4	189.2	149.6	105.4	57.2
5	193.6	140.8	110.0	52.8
6	198.0	140.8	110.0	61.6
7	198.0	132.0	92.4	57.2
8	171.6	136.4	105.4	52.8
9	176.0	145.2	105.6	52.8
10	180.4	132.0	96.8	48.4
11	189.2	140.8	105.6	52.8
12	198.0	136.4	110.0	61.6
13	198.0	145.2	110.0	57.2
14	202.4	140.8	105.6	52.8
15	171.6	154.0	96.8	57.2
16	176.0	149.6	96.8	61.6
17	180.4	149.6	105.6	61.6
18	198.0	136.4	110.4	74.8
19	171.6	136.4	110.0	61.6
20	176.0	140.8	105.6	61.6
21	176.0	140.8	110.0	57.2
22	176.0	140.8	105.6	57.2
23	176.0	140.8	105.6	61.6
24	171.6	123.4	105.6	61.6
25	167.2	123.2	101.2	57.2
26	180.4	123.2	101.2	61.6
27	171.6	127.6	96.8	74.8
28	189.2	132.0	92.4	44.0
29	189.2	132.0	92.4	44.0
30	180.2	127.6	92.4	52.8
31	202.1	137.4	92.4	57.8
32	180.4	136.4	105.6	61.6
33	171.6	136.4	105.6	61.6
34	180.2	140.8	114.4	57.2
35	189.2	132.0	105.6	61.6
36	167.2	136.4	101.3	57.2
37	189.2	140.8	101.2	61.6
38	189.2	140.8	105.6	74.8
39	171.6	136.4	105.6	61.6
40	171.6	145.2	92.4	74.8
41	180.4	140.8	114.4	66.0
42	206.8	136.4	96.8	66.0
43	180.4	136.4	101.2	66.0
44	171.6	140.8	101.2	74.8
45	189.2	136.4	105.6	57.2
46	189.2	145.2	114.4	66.0
47	180.4	140.8	101.2	57.8
48	171.6	132.0	105.6	57.8
49	176.0	132.0	105.6	66.0
50	176.0	132.4	92.4	57.2
51	215.6	140.8	114.4	66.0
52	289.2	140.8	105.6	66.0

SULFATOS (mg/L)

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	45	50	75	80
2	45	50	75	80
3	45	50	75	80
4	50	50	80	80
5	35	35	80	80
6	35	45	80	80
7	35	35	80	80
8	35	45	80	80
9	35	50	80	80
10	50	50	80	80
11	50	50	80	75
12	45	50	80	75
13	45	45	80	75
14	45	50	80	80
15	40	50	75	75
16	45	50	75	80
17	45	55	75	75
18	30	55	75	80
19	45	50	80	75
20	45	50	75	75
21	40	50	80	80
22	40	45	80	80
23	45	50	75	90
24	40	50	75	80
25	35	35	75	75
26	30	35	80	80
27	45	45	75	80
28	45	45	80	80
29	45	50	85	75
30	45	50	80	75
31	45	45	75	75
32	45	55	75	75
33	40	60	80	85
34	40	60	80	80
35	50	60	80	80
36	50	55	80	80
37	45	50	80	85
38	45	50	80	90
39	50	60	80	90
40	50	50	65	85
41	45	50	75	85
42	45	50	75	85
43	45	50	80	80
44	50	50	75	80
45	35	35	80	80
46	30	35	80	80
47	50	50	75	80
48	45	50	75	80
49	40	60	80	80
50	40	60	80	80
51	40	50	80	80
52	35	50	75	80

SULFURO DE HIDRÓGENO (mg/L)

SEMANA	ZONA NORTE	ZONA OESTE	ZONA SUR	ZONA ESTE
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0.75	0.10	0	0
6	0.10	0.10	0	0
7	0.75	0.10	0	0
8	0.75	0.10	0	0
9	0.10	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0.10	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0.65	0.10	0	0
26	0.65	0.10	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	0	0	0
40	0	0	0	0
41	0	0	0	0
42	0	0	0	0
43	0	0	0	0
44	0	0	0	0
45	0.65	0.10	0	0
46	0.75	0.10	0	0
47	0	0	0	0
48	0	0	0	0
49	0	0	0	0
50	0	0	0	0
51	0	0	0	0
52	0.10	0	0	0



ANEXO B. REFERENCIAS NORMATIVAS DE PARÁMETROS ANALÍTICOS

NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites Máximos Permisibles para contaminantes básicos en aguas residuales que se destinan a diversos cuerpos receptores.

Método normalizado	Referencia normativa
Materia flotante	NMX-AA-006-SCFI-2000
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2000
pH	NMX-AA-008-SCFI-2000
Oxígeno Disuelto	NMX-AA-012-SCFI-2001
Demanda Bioquímica de Oxígeno	NMX-AA-028-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Totales	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sulfatos	NMX-AA-074-SCFI-2001
Nitratos	NMX-AA-079-SCFI-2001
Nitritos	NMX-AA-099-SCFI-2006
Sulfuro de hidrógeno	NMX-AA-084-SCFI-2001
Muestreo	NMX-AA-003-AA-2006



ANEXO C. MEMORIA FOTOGRÁFICA



ZONA NORTE

San Pedro Las Playas, enmarada Guadalupe

ZONA ESTE puente poniente salida al mar (17/09/11), 9:15 hr.



ZONA ESTE puente oriente salida al mar (17/09/11) 9:15



ZONA SUR Unidad Habitacional Vicente Guerrero (el Maquilín)



Muestreo de campo durante el curso de Análisis de Agua y Suelos. 12 de Abril de 2011



**Lectura de parámetros de campo en El Maquilín, zona Sur (U. V. Gro. 2000).
Curso Análisis de Agua y Suelos, 12 de abril de 2011, 17 hs.**



**Muestreo en zona interior (100m) de L3P.
Abril de 2011.**



MOV02387.AVI

**Video de alumnos.
Curso Análisis de Agua y Suelos, 12 de abril de 2011**



**Evidencia de vida acuática (zona Este) y animal (zona Norte),
como síntomas de contaminación.**