U N I V E R S I D A D N A C I O N A L

A U T Ó N O M A D E M É X I C O

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGÍA

CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA DE COYUCA, GUERRERO, Y GEOVISUALIZACIÓN DE LOS PAISAJES ASOCIADOS

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE

B I Ó L O G A

P R E S E N T A

PATRICIA CRUZ MARTÍN

DIRECTOR

M. EN C. ELISEO CANTELLANO DE ROSAS

MÉXICO, D. F. SEPTIEMBRE DE 2013.

Trabajo realizado con apoyo del Programa de Fortalecimiento de la Docencia y la Investigación a través del Observatorio IXTLI, DGAPA, UNAM, IX201310.

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Con enterno agradecimiento a mis padres Paulina Martín y Gregorio Cruz, por haberme guiado a lo largo de mi vida y enseñarme a levantarme despues de cada tropizo, por ayudarme a cruzar con firmeza y optimismo los tiempos dificiles. A ustedes agradezco su paciencia, amor incondicional, comprensión, sacrificio y esfuerzo.

A mis hermanos Beatriz, Humberto, Rocío, Liliana, Lourdes, Sergio y Hugo, por todo el apoyo brindado a través de mis estudios y con la promesa de seguir siempre adelante.

A Alejandra y José por unirse a nuestras vidas y compartir conmigo de este gran logro.

Al M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas y al Biól. Raúl Arcos Ramos maestros y amigos, quienes han sabido guiar mis pasos hacia el conocimiento y han sembrado en mí la vocación de servir y de ser cada día mejor en todos los aspectos. Agradezco el apoyo y facilidades otorgadas para creer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

A los profesores Armando Cervantes, Beatriz Martínez y José Luis Guzmán, por compartir conmigo su experiencia y dedicación en este proyecto y haber contribuido a su mejoramiento como sinodales del mismo.

A Georgina, Tania, Gabriela, Ana Leonor, Bety, Valeria, Neftali, Paola, Yadira, Paulina, Cesar(s), Jorge, Carlos Alberto, Juan Pablo, Eduardo, Oziel, Veronica, Giovani, Guillermo, Armando, Violeta, David, Karen y todos aquellos que falte por mencionar, por haber sido excelentes compañeros y migos, por su paciencia, confianza y motivación para seguir a delante en los momentos de desesperación y sobre todo por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto agradable.

A quienes estoy agradecida por conocerles y aprender mucho de ustedes Manuel Feria, Alfredo Bueno, Ramiro Ríos, Ahmed CL, Alejandrina, Ángeles Galván, Carlos Pérez, Elvia García, Jorge Gallegos, Faustino López, Magdalena Ordoñez, Armando Sauer, Isaías Salgado, Aida Zapata.

A todas las personas que hicieron posible la realización y culminación de esta etapa.

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo y esfuerzo a ti.

CONTENIDO

RESUMEN 8
I. INTRODUCCIÓN 9
II. MARCO CONCEPTUAL 10
II.1. EL AGUA EN MÉXICO Y LAS LAGUNAS COSTERAS 10
II.3. CALIDAD DEL AGUA 13
II.4. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA 22
II.5. PAISAJE, CUENCA Y BATIMETRÍA 23
II.6. GEOMÁTICA Y VISUALIZACIÓN 28
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 31
IV. JUSTIFICACIÓN 32
V. OBJETIVOS 33
VI. ÁREA DE ESTUDIO 34
VII. MÉTODO 36
VII.1. MODELO INTEGRAL DEL PAISAJE 36
VII.2. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRÍCO 37
VII.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LA LAGUNA 37
VII.5. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA 43
VII.6. GEOVISUALIZACIÓN 45
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 45
VIII.1. MODELO DE PAISAJES ASOCIADOS 45
VIII.2. MAPA BATIMÉTRICO 55
VIII.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LA LAGUNA 57
VIII.4. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA 80
VIII.5. GEOVISUALIZACIÓN 83
IX. CONCLUSIONES 83
X. RECOMENDACIONES 84
XI. LITERATURA CITADA 85
ANEXOS 94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Estratificación térmica de lagos y reservorios. 12

Figura 2. Efecto de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua. 14

Figura 3. Clasificación de pH y su importancia en el medio ambiente. 16

Figura 4. Principales formas químicas y transformaciones del nitrógeno en el medio ambiente costero y marino. 18

Figura 5. Intervalos de pH y alcalinidades por CO_2 libre, carbonatos, bicarbonatos e hidroxilo. 19

Figura 6. Gestión del paisaje desde un punto de vista integral. 24

Figura 7. Aplicación de la geomática en la solución de problemas y toma de desiciones. 29

Figura 8. Laguna de Coyuca y las cinco estaciones de muestreo. 34

Figura 9. Barra de Coyuca, conexión temporal con el Océano Pacífico (Cruz, 2009). 35

Figura 10. Levantamiento batimetrico con ayuda de la ecosonda Lowrance-Electronics. 37

Figura 11. Muestras agua de colectadas en la Laguna de Coyuca. 38

Figura 12. Métodos estandarizados para determinar la calidad del agua. 39

Figura 13. Detección de colonias de bacterias coliformes totales (color rojo) y *E. coli* (color azul). 40

Figura 14. Extracción de grasas y aceites mediante equipo soxhlet. 41

Figura 15. Determinación de nitritos (izquierda) y amonio (derecha) con el colorímetro Hach. 42

Figura 16. Determinación de la alcalinidad (izquierda) y dureza total (derecha). 43

Figura 17. Mapa clases de paisaje delimitadas por la subcuenca de Acapulco. 46

Figura 18. Mapa de subclases de paisaje delimitadas por la subcuenca de Acapulco. 48

Figura 19. Mapa unidades de paisaje delimitadas por la subcuenca Bahía de Acapulco. 50

Figura 20. Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*). 53

Figura 21. Cambios de cobertura y la disminución de la conectividad del manglar a partir de las imágenes de satélite GeoEye-1 durante los años 2002 y 2011. 54

Figura 22.Batimetría de la Laguna de Coyuca 56

Figura 23. Hitograma de distribución de la profundidad de la Laguna. 56

Figura 24. Variación de la profundidad por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca. 58

Figura 25. Variación mensual de la temperatura en la Laguna de Coyuca. 60

Figura 26. Variación del pH por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca. 60

Figura 27. Variación de la transparencia por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca. 61

Figura 28. Variación mensual del OD en la Laguna de Coyuca. 62

Figura 29. Proliferación de lirio acuático y carrizo en los margenes de la Laguna de Coyuca. 63

Figura 30. Variación de la conductividad por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca. 63

Figura 31. Variación mensual del nitrógeno total en la Laguna de Coyuca. 64

Figura 32. Variación mensual de nitrógeno amoniacal en la Laguna de Coyuca. 65

Figura 33. Variación mensual de los nitritos en la Laguna de Coyuca. 66

Figura 34. Variación mensual de los nitratos en la Laguna de Coyuca. 67

Figura 35. Variación mensual del fósforo en forma de ortofosfatos en la Laguna de Coyuca. 67

Figura 36. Nutrimentos en la Laguna, promedio anual. 68

Figura 37. Proliferación de lirio acuático y carrizo, poblado La Estación. 68

Figura 38. Variación mensual de la concentración de bacterias coliformes totales en la Laguna de Coyuca. . 70

Figura 39. Variación mensual de concentración de las bacterias *E. coli* en la Laguna de Coyuca. 70

Figura 40. Variación mensual de la DBO5 en la Laguna de Coyuca. 71

Figura 41. Variación mensual de la DQO en la Laguna de Coyuca. 72

Figura 42. Variación de los sólidos totales por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca. 72

Figura 43. Variación de la alcalinidad por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca. 73

Figura 44. Variación de la dureza del agua por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca. 74

Figura 45. Variación mensual de la dureza del agua en la Laguna de Coyuca. 74

Figura 46. Distribución espacial de grasas y aceites en la Laguna de Coyuca. 75

Figura 47. Variación mensual de la concentración de sulfuros en la Laguna de Coyuca. 76

Figura 48. Variación mensual del cloro libre en la Laguna de Coyuca. 77

Figura 49. Variación mensual del cloro total en la Laguna de Coyuca. 78

Figura 50. Gráfico de dispersión de las cargas de los componentes principales. 79

Figura 51. Dendograma de agrupamiento de los sitios que comparten mayor similitud entre sus variables. ..80

Figura 52. Índice de calidad del agua por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca. 82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Índices de calidad del agua más utilizados a nivel mundial. 22

Cuadro 2. Recursos utilizados en la clasificación de paisaje..... 36

Cuadro 3. Acción y aplicación de preservadores para muestras de agua. 39

Cuadro 4. Escala de clasificación del ICA-NSF. 44

Cuadro 5. Escala de clasificación del ICA-General según su posible uso. 44

Cuadro 6. Clasificación de los paisajes de la subcuenca Bahía de Acapulco 45

Cuadro 7. Comparación de los promedios mensuales de la calidad del agua en lagunas. 59

Cuadro 8. Clasificación del ICA-NSF del agua de la Laguna de Coyuca. 81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de frecuencias de los datos de profundidad 94

Anexo 2. Laguna de Coyuca y NOMs (límites máximos permisibles). 95

Anexo 3. Variables registradas y analizadas en la Laguna de Coyuca de Benítez, Gro. 96

Anexo 4. Matriz de correlaciones de Spearman (r_s) 97

Anexo 5. Análisis de Componentes Principales..... 98

Anexo 6. Ponderación de los parámetros utilizados para el cálculo del ICA-NFS. 99

Anexo 7. Calidad del agua para la vida acuática 99

Anexo 8. Tipificación del paisaje de la subcuenca Bahía de Acapulco (Parte 1) 100

Anexo 9. Tipificación del paisaje de la subcuenca Bahía de Acapulco (Parte 2) 101

Anexo 10. Tipificación del paisaje de la subcuenca Bahía de Acapulco (Parte 3) 102

Anexo 11. Tipificación del paisaje de la subcuenca Bahía de Acapulco (Parte 4) 103

RESUMEN

El deterioro del medio acuático tiene serias implicaciones socioeconómicas, sanitarias, ambientales y estéticas. El crecimiento poblacional y las actividades turísticas, comerciales, agropecuarias e industriales en el municipio de Coyuca de Benítez, Estado de Guerrero, genera grandes cantidades de aguas residuales, afectando negativamente la calidad de las aguas superficiales y disminuyendo su capacidad de autodepuración y uso. Para entender esta problemática, se realizó un estudio sobre la calidad del agua en la Laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero y la influencia de los paisajes de la subcuenca Bahía de Acapulco, que se encuentran asociados a la Laguna. Se realizó un levantamiento de reconocimiento en la Laguna de Coyuca, a partir de datos de profundidad utilizando el método de líneas rectas paralelas al eje longitudinal. La clasificación del paisaje, dentro de la subcuenca Bahía de Acapulco se basó en la fotointerpretación de imágenes de satélite, tomando como punto de partida el mapa de unidades de paisaje propuesto en el Ordenamiento Ecológico del Municipio de Coyuca de Benítez. La evaluación de la calidad del agua contempló la determinación de los principales indicadores físicos, químicos y biológicos de acuerdo a las técnicas estandarizadas APHA, NOMs, el Manual HACH y el cálculo del índice de calidad del agua (ICA-INSF), en cinco sitios de muestreo distribuidos a lo largo de la Laguna. El análisis de datos se realizó mediante una prueba no paramétrica Comparación de Varias Muestras, prueba de Kruskal-Wallis y por comparaciones múltiples mediante gráficos de cajas y alambres, además de un análisis de correlaciones bivariadas, por la prueba de Spearman, complementándose con un análisis multivariado de componentes principales (ACP) y otro de conglomerados.

La clasificación de paisaje se realizó estableciendo tres grandes clases (Sierra, Lomeríos y Planicie costera) y seis subclases, destacando las áreas de aprovechamiento y las áreas de vegetación natural con degradación aparente. Se definieron 26 unidades de paisaje, siendo las más relevantes el manglar, la Laguna y las áreas de manejo agrícola, pecuario y urbano. El levantamiento batimétrico de la Laguna de Coyuca evidenció la existencia de una zona profunda y otra somera con una profundidad promedio de 6.67±5.8 m. Los valores de la calidad del agua que destacan son los nitratos, grasas y aceites, DBO5, DQO, sulfatos, alcalinidad, dureza total y coliformes totales. Se observó una fuerte correlación positiva entre las variables DBO5-DQO, pH-alcalinidad y NT-NH_3. El ACP presentó una variabilidad acumulada del 73.2% en los dos primeros componentes (52.8% y 20.4%, respectivamente). El análisis de conglomerados permitió clasificar a los sitios de muestreo en dos grupos, el primero formado por el Canal de la Laguna, La Estación y Pie de la Cuesta-ZT y el segundo grupo conformado por los sitios El Embarcadero y la Barra-Río Coyuca. Se concluye que los sitios cuyos indicadores de calidad sobrepasaron en mayor medida los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, fueron La Estación y la Barra-Río Coyuca.

La Laguna de Coyuca se ubica en una posición de mediana calidad (61.9%) con respecto al ICA-NSF, lo que corresponde a una aptitud para el uso agrícola; el consumo humano requiere purificación y es insegura para la pesca, dada la presencia de bacterias coliformes. Para atender esta problemática se proponen acciones como el manejo integral de cuencas, la adopción de sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales así como, impulsar el cuidado integral del agua.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para la vida y soporte del desarrollo económico y social de cualquier país del mundo, fundamental para los ecosistemas y requisito para la sostenibilidad del medio ambiente y su biodiversidad. La distribución natural del agua en el ámbito mundial y regional es desigual: mientras en algunas regiones es abundante, en otras es escasa o inexistente. La disponibilidad del líquido depende de la dinámica del ciclo hidrológico, en el cual los procesos de evaporación, precipitación, transpiración y escurrimientos dependen del clima, las características del suelo, su vegetación y de la ubicación geográfica (CONAGUA, 2010). De acuerdo con el Consejo de Agua Mundial, para el siglo XXI se identifican seis grandes retos relacionados con el agua: la escasez, la falta de acceso, el deterioro de su calidad, la toma de conciencia de los tomadores de decisiones y del público, la disminución en la asignación de recursos financieros y la fragmentación en su manejo (Becerra, *et al.*, 2006).

Durante la última década, los problemas ambientales relacionados con el agua han aumentado tanto en zonas urbanas como rurales. Conforme se incrementa la población, aumenta la demanda de agua dulce para la producción de alimentos, usos industriales y principalmente para usos domésticos; además, para generación de energía eléctrica, acuacultura, pesca, recreación, turismo, navegación, entre otros. La disponibilidad de agua dulce impone límites al número de personas que puede habitar una zona e influye en el nivel de vida (fundamentalmente en el combate a la pobreza y la reducción de enfermedades). Si los requerimientos son constantemente superiores a los suministros disponibles, en algún momento la sobreexplotación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos provocará la escasez crónica de agua (OMS, 2006; Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012).

La contaminación con fertilizantes y plaguicidas, la deforestación, las aguas negras, la construcción de represas y sistemas de irrigación pueden afectar severamente la morfología de las cuencas hidrográficas, la hidráulica de los sistemas fluviales, la calidad del agua y los recursos costeros. Se estima que más de la mitad de la población mundial vive dentro de una franja de 100 km de costa, y se prevé que para el año 2025, el 75% de la población mundial podría habitar en las zonas costeras, conformando megalópolis con problemas de marginación y pobreza, así como los consecuentes impactos ambientales del suelo, el agua y el paisaje (Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales, Gestión 2000-2006).

Recuperar la estructura y función de las zonas degradadas a partir de una concepción territorial de cuenca, así como amortiguar o mitigar los abusos de las actividades humanas, enfocando el manejo en las funciones ecológicas provee los servicios ambientales y recursos, que al final se traduce en beneficios económicos, así como una mejor calidad de vida para los usuarios y pobladores con la conservación del capital natural. Esta problemática requiere soluciones integrales, no es un problema técnico solamente, es un problema de cultura, de leyes y de democracia en el acceso y usos de los recursos naturales (SEMARNAT/DGRMIS, 2004). Ante el deterioro de la calidad del agua, es necesario establecer sistemas de vigilancia, alerta temprana y control de contaminación. Dado que el manejo y la gestión son formas de intervenir en la naturaleza, hacerlo de modo responsable y efectivo supone conocer estos mecanismos de interacción. La determinación de los parámetros de calidad del agua debe realizarse en base a criterios físicos, químicos y biológicos, que consideren la dinámica de los procesos y elementos que los afectan, así como la capacidad del recurso o del ecosistema para soportar presiones y de su poder de autodepuración.

II. MARCO CONCEPTUAL

II.1. EL AGUA EN MÉXICO Y LAS LAGUNAS COSTERAS

México no es ajeno a la problemática mundial, el crecimiento poblacional y económico ha ejercido mayor presión sobre las reservas de agua. La competencia por el recurso es causa de conflictos de diferente intensidad y escala: se presenta no sólo entre usuarios de la misma comunidad, sino entre distintas comunidades, municipios, estados e incluso en el ámbito transfronterizo (CONAGUA, 2010).

En términos de disponibilidad en México, cada habitante cuenta con un poco más de 4500 m^3/año, aun cuando 30% de la población se encuentra en zonas con disponibilidad *per cápita* menor a la considerada como de estrés hídrico de 1700 m^3/año (WRI, 2000). En cuanto al uso, 78% del agua se emplea para la agricultura, 11.5% para fines públicos urbanos, 8.5% para la industria y 2% para fines pecuarios y la acuacultura. Si bien la agricultura es la actividad que emplea más agua, hay que recordar que las 6.3 millones de hectáreas bajo riego (alrededor de 30% de la superficie agrícola) aportan más de la mitad de la producción agrícola nacional y son el pilar de la cultura rural del país. Según datos de la Semarnat, la calidad del agua superficial que es la única que se mide sistemáticamente, indicando que el 66% es excelente o aceptable mientras que el resto requiere tratamiento o se encuentra severamente contaminada (Jiménez y Marín, 2005; Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012).

La contaminación de los recursos hídricos es quizá uno de los problemas más graves de deterioro ambiental a los que México se enfrenta, tanto por el daño a los ecosistemas y hábitats naturales, como por los riesgos sobre la salud humana y por la inutilización de caudales de agua potencialmente aprovechables. La principal causa del problema es la descarga de agua residual por parte de los municipios e industrias sobre los cuerpos de agua. Los usos no municipales, incluyendo la industria autoabastecida, solamente consumen 9% del agua en el país, pero la contaminación que generan, medida en demanda bioquímica de oxígeno es igual a la que producen 100 millones de habitantes. Los sectores con mayores descargas contaminantes son la acuacultura, la industria azucarera, la actividad petrolera, los servicios y la industria química (Jiménez y Marín, 2005; CONAGUA, 2011).

En México, la gestión y el desarrollo integral de los recursos hídricos ha buscado asegurar el uso óptimo y sostenible del agua para el desarrollo económico y social, mientras se protege y mejora el valor ecológico del ambiente, esta política se proyectó como uno de los objetivos a alcanzar en el Programa Sectorial de la Agenda Azul (Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012). Para lograr lo anterior es indispensable considerar como eje rector de la política hídrica con la corresponsabilidad de los tres niveles de gobierno y la sociedad, la conservación de los ecosistemas terrestres y acuáticos, como la zona costera que es un amplio espacio de interacciones del mar, la tierra, aguas epicontinentales y la atmósfera. Los espacios costeros han sido, y son, codiciados desde distintos sectores tanto económicos como sociales. La constante lucha por conquistar esta frágil zona conlleva un desequilibrio en el sistema que en ocasiones ha llevado a la pérdida del espacio litoral.

Lagunas costeras

Las lagunas costeras, son ecosistemas muy fluctuantes caracterizados fundamentalmente por la mezcla de aguas continentales y marinas. La intensidad y frecuencia de esta mezcla, determina en su mayor parte los cambios estacionales de las características físicas y químicas del agua y de las poblaciones biológicas que las habitan (Margalef, 1969). Se caracterizan por ser depresiones someras, con su eje principal paralelo a la línea de costa, conectada al mar temporal o permanentemente por uno o más canales y separada de él por una barrera física (Lankford, 1977; Kjerfve, 1994). Es preciso señalar, que las lagunas costeras y los estuarios como cuerpos de agua difieren en términos geomorfológicos, pero son afines en términos ecológicos (Margalef, 1969). La mezcla de agua, una marina y otra continental, se conoce como estuarinidad, y un estuario como un área semicerrada donde el agua de mar que penetra se encuentra diluida con el agua proveniente de los ríos. Aunque controvertible, las lagunas costeras exhiben esta peculiaridad, por lo que tienen características estuarinas. La diferencia topográfica medular entre ambos cuerpos de agua es que el estuario se dispone en línea perpendicular a la costa (valle de río inundado) y en la Laguna costera el eje principal es paralelo a ésta.

En México existen 137 lagunas costeras y estuarios que cubren una superficie de 1, 567,000 ha; en la costa del Pacífico se encuentran 92 y en la del Golfo de México y el Caribe 45 (Contreras-Espinoza, 1993). Estas masas acuíferas conforman ecosistemas con una elevada productividad, donde la energía disponible es mayor comparada con la de otros sistemas acuáticos, por recibir un considerable subsidio energético aunado a los procesos ecológicos fundamentales en estos sistemas. De acuerdo a Contreras y Castañeda (2004), las lagunas costeras se caracteriza principalmente por los siguientes aspectos: 1) la presencia de una biota local abundante; 2) una notable exportación de materiales biogénicos hacia la zona adyacente debido al intercambio mareal; y 3) una retención significativa de nutrimentos y materia orgánica en los sedimentos.

Las lagunas costeras son áreas utilizadas comúnmente para la protección, alimentación y reproducción de muchos organismos marinos, por lo que gran número de pesquerías litorales, como la mayoría de las especies de camarón, dependen de la conservación de estos ambientes. Sus características hidrológicas y ecológicas hacen de ellas hábitats ricos que manifiestan variaciones estacionales significativas. El promedio de la producción natural de peces en las lagunas es de alrededor de 100 kilogramos por hectárea al año, representando una producción por unidad de área dos veces superior a la observada en el mar litoral y en la mayoría de los lagos continentales. Se ha demostrado que muchos organismos se desarrollan mejor en las lagunas que en los estuarios o en aguas litorales. Lo anterior puede estar relacionado con las elevadas cantidades de nutrimentos y la productividad primaria, en comparación con el océano adyacente (Contreras, 2000).

El clima y las condiciones meteorológicas derivadas aportan un elemento más de variación en el ambiente de los ecosistemas costeros y en su biodiversidad (Figura 1). En casi todo el litoral, el efecto de la temperatura continental es relativamente homogéneo, tanto espacial como temporal, mientras que la temperatura superficial marítima ejerce gran influencia sobre la variaciones registradas en las aguas lagunares, las estuáricas y, en general, en toda zona costera. Otros factores locales, como la poca profundidad, la elevada insolación y las consecuentes altas tasas de evaporación, tienden a magnificar o atenuar el efecto de la temperatura de las corrientes marítimas superficiales costeras, al mismo tiempo que influyen en los grupos de

organismos. Aditivamente, los cambios climáticos determinan la alternancia de periodos lluviosos y de secas, las cuales modifican sensiblemente el comportamiento de diferentes factores físicos, químicos y biológicos (Contreras y Castañeda, 2004).

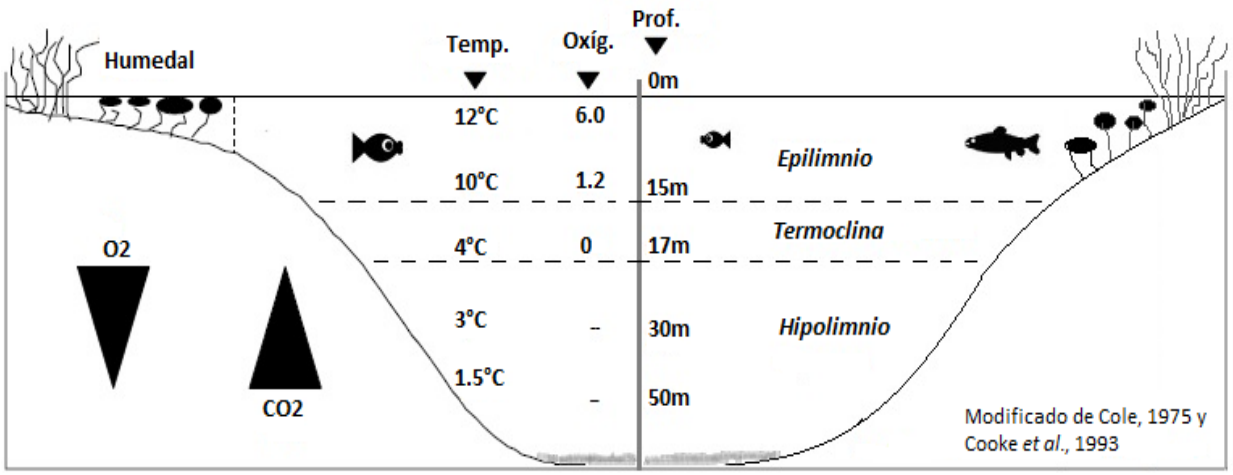

Figura 1. Estratificación térmica de lagos y reservorios.

Contrariamente a lo que sucede en las áreas continentales y donde la variación de la temperatura es factor determinante de la estacionalidad, en las costas mexicanas es la presencia o ausencia de precipitación lo que marca las principales diferencias entre las estaciones del año. Paralelamente, las diferencias existentes entre las vertientes del Pacífico y del Golfo de México en la geomorfología, origen, tipo y distribución de los sedimentos y procesos de deposición dominantes, también inciden sobre las agrupaciones de especies. También, la diversidad en los grupos de organismos de los ecosistemas costeros se establece en función de la variación espacio-temporal de la salinidad, la cual está estrechamente asociada a la fluctuación climática regional de lluvias y estiaje (Contreras y Castañeda, 2004).

Todos los factores antes descritos, hace de las lagunas costeras de México sitios muy importantes desde la perspectiva de la biodiversidad. Por ejemplo, la cantidad de especies de peces por Laguna varía en promedio entre 50 y 100, la de moluscos entre 50 y 90 y la de crustáceos entre 40 y 70. La riqueza ictiofaunística de los ecosistemas estuarino-lagunares de México, alrededor de 400 especies, es una de las más altas registradas para zonas tropicales del mundo. En las costas se presentan diez especies de fanerógamas marinas, seis en el Golfo de México y cuatro en el Pacífico norte, mientras que en el Pacífico tropical su ausencia es notable. En varios estados de las costas mexicanas habitan y se reproducen siete de las ocho especies de tortugas que hay en el mundo, y para cinco de ellas se cuenta con las principales poblaciones del planeta: la golfina (*Lepidochelys olivacea*), la lora (*Lepidochelys kempii*), endémica del Golfo de México, la carey (*Eretmochelys imbricata*) y la negra (*Chelonia agassizi*) (Contreras y Castañeda, 2004).

Otra característica relevante de casi todas las lagunas, es que están estrechamente ligadas con bosques de manglar, los cuales constituyen hábitats particularmente ricos para las aves migratorias provenientes de Canadá y Estados Unidos, reptiles y mamíferos. Los manglares más importantes de México, por su productividad y estado de desarrollo, se encuentran íntimamente ligados a tres áreas lagunares: Términos en Campeche, Marismas Nacionales en Nayarit y Chantuto-Panzacola en Chiapas. En México se reconocen poco más de mil especies de aves, que representan 86 familias; cerca de 750 son residentes, de las cuales

más de 80 son endémicas, otras 400 no van más allá de la frontera norte, y alrededor de 200 son migratorias. Las aves acuáticas representan el 22% del total y muchos de los ecosistemas costeros que constituyen sus hábitats (como la Península de Baja California y los estados de Nayarit, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo), están clasificados como sitios de importancia internacional (Contreras y Castañeda, 2004). El impulso de las organizaciones no gubernamentales protectoras de aves ha propiciado una amplia corriente mundial para la conservación de los humedales, término que se designa a todas las tierra húmedas costeras o epicontinentales, que conforman los hábitats más frecuentes de anidación, descanso, alimentación y cría de aves, tanto residentes como migratorias. Las lagunas costeras también actúan como zonas de protección, como estabilizadores de microclimas; los manglares y marismas, principalmente, reducen el impacto de los vientos, las olas o de las corrientes marinas, equilibrando, de esta forma, la línea costera y controlando las tasas de sedimentación e inundación (Contreras, *et al.*, 2002).

La importancia económica de las lagunas costeras radica en que sostienen pesquerías, acuacultura, turismo y otras actividades productivas que impulsan desarrollos urbanos y portuarios (Kennish, 2000). Todas estas ventajas naturales y los múltiples servicios ambientales que ofrecen han provocado que sean intensamente aprovechadas por el hombre. Sin embargo, esto se ha traducido en procesos de deterioro, como la contaminación puntual o difusa, y la alteración de los flujos de intercambio de agua dulce y marina por la apertura permanente de bocas con el mar o la construcción de carreteras sobre el humedal, entre otros (Tapia-González, *et al.*, 2008). Algunas de las consecuencias generadas por las malas prácticas de uso y manejo de las lagunas costeras son la eutrofización (incremento en la tasa de suministro de materia orgánica a un ecosistema), pérdida de cobertura de manglar, las mortandades masivas de organismos y el desarrollo de mareas rojas, todas las cuales disminuyen los servicios ambientales de estos ecosistemas (Nixon, 1995).

La gestión integral de zonas costeras está fundamentada en tres disciplinas independientes e interrelacionadas que son: la ingeniería de costas, la ordenación del territorio y la medioambiental (Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012).

II.3. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es un factor determinante de la salud pública y de los ecosistemas, que restringe la oferta de agua y su distribución potencial para los diferentes usos. En México los problemas de calidad del agua son severos y tienen un fuerte rezago en su atención, comparados con los relativos a la cantidad y a la provisión de servicios a la población. El monitoreo de la calidad del agua es un proceso que debe ser eficaz, regulado y actualizado. De la misma manera, la evaluación de la calidad del agua es indispensable para poder orientar esfuerzos que favorezcan su reutilización (Carabias, 2005). Los instrumentos normativos de protección al capital natural requieren de información espacial confiable y oportuna, que permitan detectar, monitorear y evaluar la magnitud de ocurrencia de los procesos de deterioro en forma rápida, concreta y eficiente, además de proponer alternativas que disminuyan su incidencia o para recuperar áreas perturbadas (LEGEEPA, 2011).

Los parámetos más empleados, que permiten conocer la calidad son los siguientes:

Parámetros Físicos

Temperatura

Es una medida de la energía térmica (energía cinética) de una sustancia, en este caso el agua y se produce como consecuencia de la absorción de las radiaciones caloríficas por la capas de aguas más superficiales. De modo general, la temperatura de las aguas superficiales está influenciada por la temperatura del aire y cuanto menos profunda es la capa de agua, mayor es su influencia (González, 2006). Una corriente de agua puede cambiar su temperatura por efectos climáticos naturales o por la introducción de desechos industriales. La temperatura es determinante en la regulación de los procesos vitales en los organismos vivos, así como las propiedades químicas y físicas de diversos factores abióticos en un ecosistema. Una temperatura elevada implica la aceleración de la putrefacción y por lo tanto, un aumento de la demanda de oxígeno, al mismo tiempo que disminuye su solubilidad (Figura 2). Las reacciones biológicas que se desarrollan en el agua son influenciadas grandemente por la temperatura, pudiendo actuar sobre las poblaciones como un factor de control o como un factor letal. Para todas las especies existe una temperatura óptima en la cual se desarrollan, temperatura que depende de la especie, de la edad, de la estación, etc. Temperaturas inferiores hacen que el metabolismo se reduzca, temperaturas superiores hacen que se sobre activen los procesos de síntesis y de catabolismo, adquiriendo estos últimos cierto predominio (González, 2006). De igual forma, este parámetro influye en la solubilidad y estado físico de los nutrientes, el grado de toxicidad de xenobióticos, el pH, el potencial redox, la densidad, la conductividad eléctrica por disolución de las sales, entre otros procesos (Fuentes y Massol, 2002).

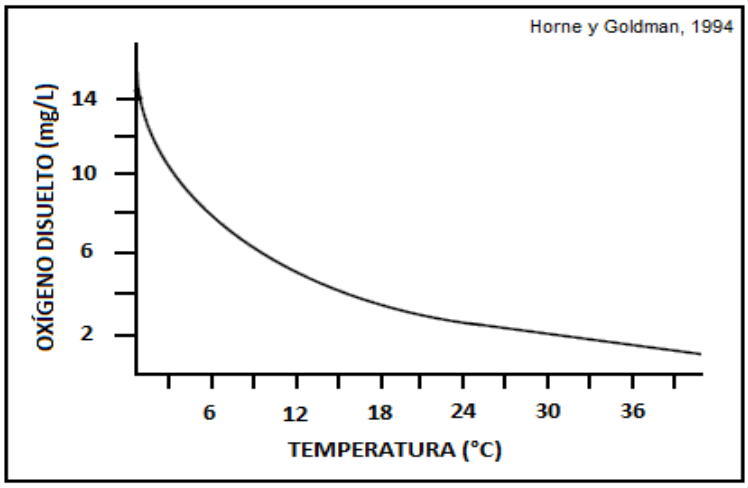

Figura 2. Efecto de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua.

Turbidez

La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, como arcillas, limos, sedimentos, materias orgánicas e inorgánicas finamente divididos, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros organismos microscópicos. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. La correlación de la turbidez con la concentración en peso de la materia en suspensión es difícil de establecer, ya que en la dispersión luminosa también intervienen el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas. Las partículas que producen la turbiedad en el agua varían en tamaño desde dimensiones coloidales

(aproximadamente 10 nm) hasta diámetros del orden de 0.1 mm. Pueden dividirse en tres clases generales: arcillas, partículas orgánicas, resultado da la descomposición de restos de plantas y animales; y partículas fibrosas, por ejemplo, los minerales asbestos. La turbiedad orgánica, consecuencia de la acumulación de microorganismos superiores puede ocurrir en cantidades tan grandes que las aguas se tornan turbias y de apariencia desagradable (por ejemplo, los restos de algas en el agua superficial y el residuo proveniente de las bacterias de hierro en los sistemas de distribución). La determinación de la turbidez es de gran importancia en agua para consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas. La turbiedad del agua natural puede variar desde menos de 1 hasta 1000 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez). Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda. Es posible lograr la remoción de la turbiedad mediante simple filtración o, de manera más efectiva, por medio de una combinación de coagulación, sedimentación y filtración (González, 2006; Fuentes y Massol, 2002).

Sólidos

Los sólidos, que incluyen toda la materia sólida, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, pueden ser inorgánicos u orgánicos; su principal efecto en los cuerpos receptores es el interferir con la penetración de la luz solar (turbiedad) y el azolve de los cuerpos de agua (Romero, 1999). Los sólidos se clasifican en:

- Sólidos disueltos totales (SDT). Son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, comprenden sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica. Los principales iones que contribuyen a los SDT son carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio y magnesio. Los SDT en el agua pueden deberse a fuentes naturales, descargas de efluentes de aguas servidas, escurrimientos urbanos o descargas de desechos industriales. Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm. Los procesos de tratamiento son múltiples en función de la composición incluyendo la precipitación, intercambio iónico, destilación, electrodiálisis y ósmosis inversa.

- Sólidos suspendidos totales (SST). Se separan por filtración y decantación. Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación. Pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático. La determinación de sólidos suspendidos totales es importante para evaluar la concentración de aguas residuales y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento.

- Sólidos totales (ST). Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a una temperatura de 103 °C. El valor de los sólidos incluye tanto material disuelto (residuo filtrable) y no disuelto (suspendido). En aguas potables, la determinación de sólidos totales es la de mayor interés, por ser muy pequeña la cantidad existente se sólidos suspendidos.

Parámetros Químicos

pH

El pH es un indicador de la condición ácida o alcalina de una sustancia y está determinado por la concentración de iones de hidrógeno (H^+). El pH del agua puede variar entre 0 y 14, que es un factor muy importante porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH (Figura 3). En las aguas naturales el pH oscila normalmente entre 6.5 y 8.5 favoreciendo en este intervalo, la vida de diferentes especies acuáticas. Valores elevados (mayores a 9.2) tienen efectos inhibidores en diversas especies. En un vertido con pH ácido, se disuelven los metales pesados; a su vez, el pH alcalino ocasiona que los metales precipiten (Cartró, 2003; González, 2006).

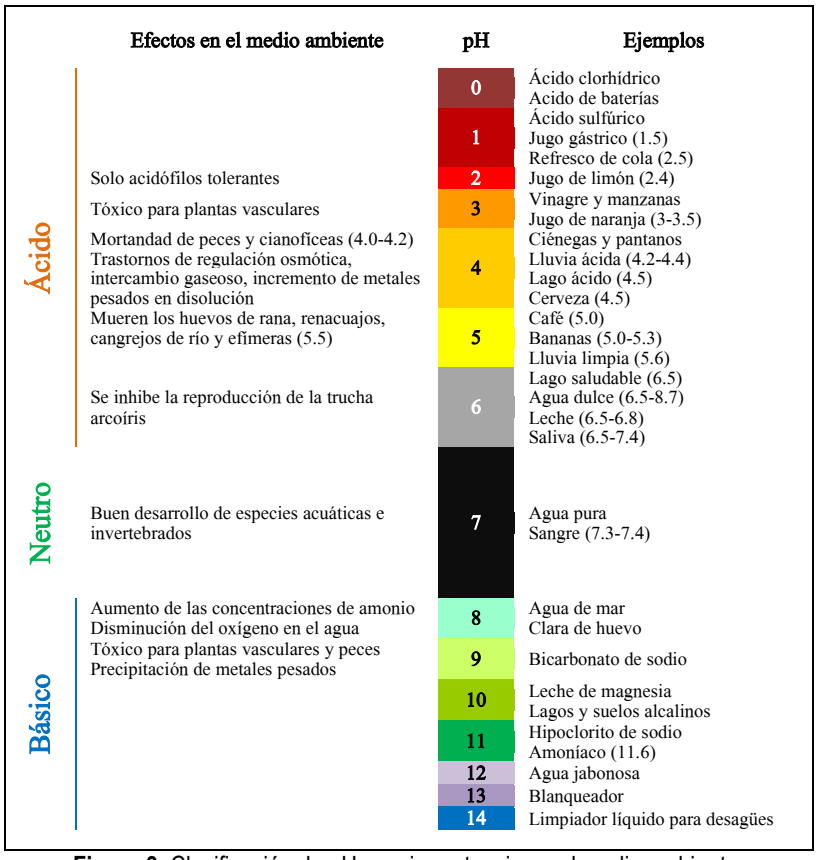

Figura 3. Clasificación de pH y su importancia en el medio ambiente.

Oxígeno disuelto (OD)

Es la cantidad de oxígeno presente en el agua y representa una condición fundamental para mantener la salud de un ecosistema acuático. El nivel de OD puede ser un indicador del nivel de contaminación del agua y las posibilidades para dar soporte a la vida vegetal y animal. Las principales fuentes de oxígeno en el agua son la aireación y la fotosíntesis de las plantas acuáticas (principalmente algas). Su concentración depende de varios factores especialmente la temperatura, presión y salinidad (Castro, 1980). Los niveles de OD típicamente pueden variar de 0-18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5-6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. Generalmente, un nivel más alto de OD indica agua de mejor calidad. Cuando el contenido de oxígeno disminuye por debajo de 3 o 4 mg/L de oxígeno, es muy perjudicial para la vida de los peces y de otros organismos acuáticos. Al estar presente el

oxígeno en el agua, se evita la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Su remoción se debe a la respiración de los vegetales, la demanda bioquímica de oxígeno de materiales orgánicos y sedimentos, sobresaturación y reducción de inorgánicos. La baja solubilidad del oxígeno es el principal factor que limita la capacidad de purificación de las aguas naturales y obliga a efectuar tratamiento de las aguas servidas para remover la materia contaminante antes de descargar a los cuerpos receptores (Fuentes y Massol, 2002; González, 2006; Abarca, 2007).

Materia orgánica

La materia orgánica biodegradable, compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, procede de los desechos orgánicos y es el principal constituyente del material biológico. Si es descargada sin tratamiento al ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas (Escobar, 2011). Por lo general, se mide en los siguientes términos.

Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO). Es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica en el agua mediante procesos biológicos aerobios. El término "degradable" se interpreta como la expresión de la materia orgánica que puede servir de alimento a las bacterias. Existen diversas variantes en la determinación de la DBO, entre ellas las que se refieren al periodo de incubación. La más frecuente es la determinación de DBO a los cinco días (DBO5), representando la cantidad de oxígeno consumido por dicho proceso en cinco días. A mayor, DBO mayor grado de contaminación. Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm; contenidos superiores son indicativos de contaminación. En las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm, y en las industriales depende del proceso de fabricación, pudiendo alcanzar varios miles de ppm (González, 2006).

Demanda Química de Oxigeno (DQO). Mide la cantidad de materia orgánica que hay en una muestra líquida susceptible de ser oxidada por medios químicos y se expresa en mg O_2/L. Este método es aplicable en aguas continentales, aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica, por consecuencia, no es recomendable para las aguas potables debido al valor tan bajo que se obtendría. Una desventaja de este esté método, es que puede haber interferencias debido a la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas como los sulfuros, sulfitos, yoduros, entre otros La relación entre los valores de DBO y DQO es indicativa de la biodegradabilidad de la materia contaminante. En aguas residuales un valor de la relación DBO/DQO menor de 0.2 se interpreta como un vertido de tipo inorgánico y orgánico si es mayor de 0.6 (González, 2006).

Nutrimentos

El fósforo, es un nutriente de gran importancia para el crecimiento y reproducción de los microorganismos que participan en la estabilización de la materia orgánica. El fósforo se presenta en dos formas, principalmente: en compuestos orgánicos, por ejemplo proteínas y en compuestos minerales polifosfatos y ortofosfatos (PO_4^{3-}). Los polifosfatos se encuentran principalmente en los residuos que contienen detergentes sintéticos (Castro, 1980). La forma predominante de fósforo en los cuerpos de agua es como ortofosfato cuya presencia puede provenir de la separación de pesticidas orgánicos que contienen fosfatos (Chapman y Kimstach, 1992). El ion fosfato (PO_4^{3-}) generalmente forma sales poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico (Sierra, et. al., 2002). Como procede de un ácido débil contribuye a la alcalinidad del agua. No suele haber en el agua más de 1 ppm, salvo en los casos de contaminación por fertilizantes fosfatados (López, 2011). En exceso, el

nitrógeno y fósforo propician la proliferación de algas y malezas acuáticas (eutrofización del cuerpo receptor), y en concentraciones altas llegan a tener efectos tóxicos y provocar asfixia de peces (Abarca, 2007).

El nitrógeno, circula a través del aire, sistemas acuáticos y el suelo. El nitrógeno inorgánico puede existir en estado libre como un gas (N_2), como nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) o amoniaco (NH_3). El nitrógeno orgánico se encuentra en las proteínas y es continuamente reciclado por plantas y animales. En el agua, el nitrógeno de la biomasa se encuentra en forma de proteínas, las cuales son hidrolizadas formando los aminoácidos que por acción bacteriana son transformadas en amoniaco, luego a nitrito y por último a nitrato. Inicialmente parte del amoniaco soluble se combina con H^+ para formar iones amonio (NH_4^+), este efecto tiende a elevar el pH. El ion amonio, por la acción de las nitrosomonas autotróficas y nitrobacterias, es transformado a nitrito y posteriormente a nitrato. La concentración de nitrato es mayor que la concentración de nitritos, debido a que la nitrobacteria requiere cerca de tres veces más de sustrato que las nitrosomonas para obtener la misma cantidad de energía. Al igual que las bacterias autotróficas, las algas metabolizan el amoniaco y el nitrato, pero prefieren el amoniaco, el cual debe haberse consumido antes de que comience a utilizar el nitrato para la síntesis celular (Castro, 1980).

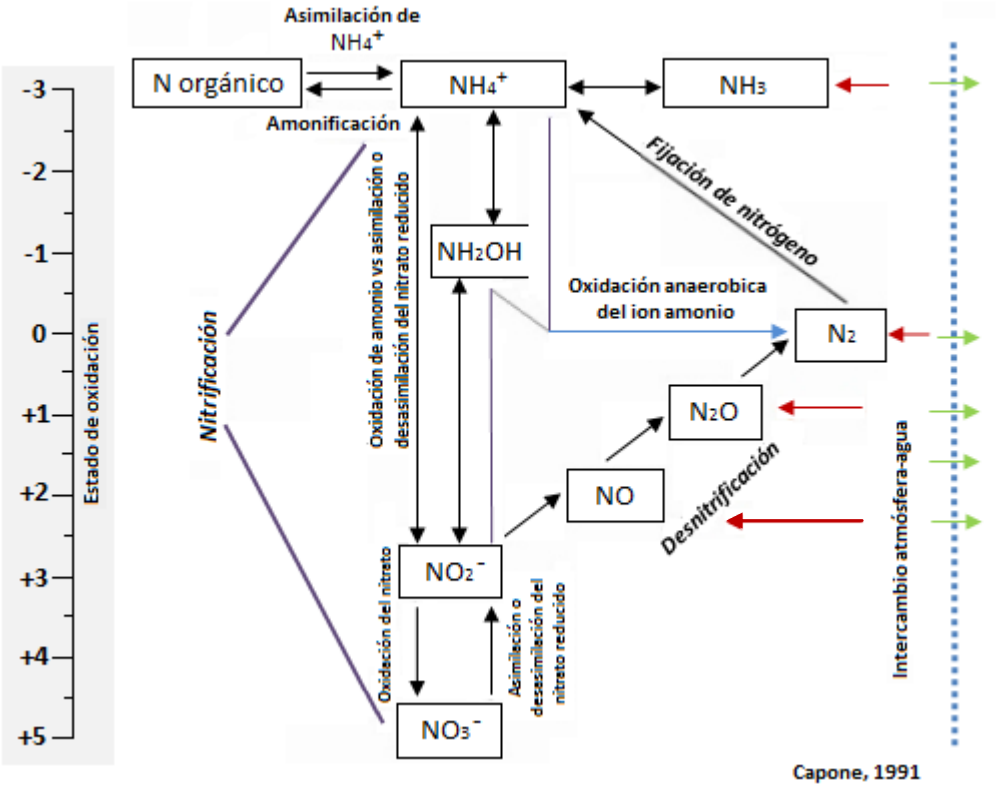

Figura 4. Principales formas químicas y transformaciones del nitrógeno en el medio ambiente costero y marino.

Alcalinidad

La alcalinidad, es la capacidad del agua para neutralizar ácidos (reacción y neutralización de iones hidronio H_3O^+). Es causada por la concentración de los iones carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-). No obstante, cuando están presentes algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos, también pueden contribuir a la alcalinidad. El bicarbonato es la principal forma de alcalinidad. El bicarbonato y el hidróxido pueden ser significativos cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando

hay descargas industriales en un cuerpo de agua. La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Este parámetro ha sido utilizado como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa. Cuando la alcalinidad es menor de 10 ppm es recomendada para el uso doméstico. Se corrige por descarbonatación con cal, tratamiento con ácido o desmineralización por intercambio iónico (Fuentes y Massol, 2002; Abarca, 2007).

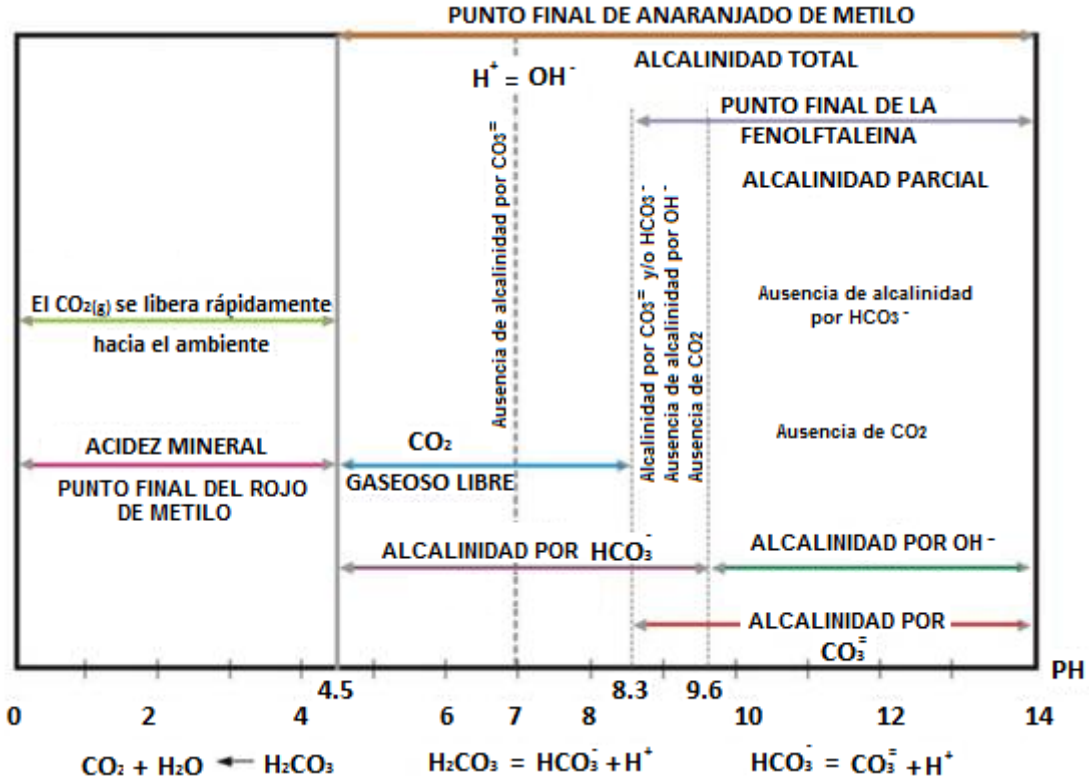

Figura 5. Intervalos de pH y alcalinidades por CO_2 libre, carbonatos, bicarbonatos e hidroxilo.

Dureza

Se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes en el agua como iones metálicos divalentes que pueden ser calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), estroncio (Sr^{2+}), bario (Ba^{2+}), fierro (Fe^{2+}), aluminio (Al^{3+}) y aniones como carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-), nitratos (NO_3^-), silicatos y otros metales que se encuentran presentes en forma de sólidos disueltos (Jairo, 2002). De éstos, el calcio y el magnesio son los más abundantes, por lo que casi siempre la dureza está directamente relacionada con la concentración de estos dos elementos. Desde el punto de vista sanitario, la dureza del agua no tiene ninguna relación con la salud, por lo que es irrelevante consumir agua de alta o baja dureza, sin embargo, el exceso le da un sabor indeseable al agua potable (OMS, 2006). La dureza es indeseable en algunos procesos, tales como el lavado doméstico e industrial, provocando que se consuma más jabón, al producirse sales insolubles. Niveles superiores a 500 mg/L son indeseables para uso doméstico. En calderas y sistemas enfriados por agua la dureza recomendable es 0 mg/L, concentraciones mayores producirían incrustaciones en las tuberías y una pérdida en la eficiencia de la transferencia de calor.

La dureza puede ser temporal cuando está determinada por el contenido de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. Se caracteriza por que su ablandamiento (eliminación) se logra por ebullición del agua (el bicarbonato se precipita desprendiendo dióxido de carbono y disminuyendo el valor del pH por las formaciones de ácido carbónico). Posteriormente se eliminan los precipitados formados por filtración, también se le conoce como Dureza de Carbonatos o carbonatada. La dureza permanente está determinada por todas las sales de calcio y magnesio (sales más fijas como los cloruros y sulfatos), excepto carbonatos y bicarbonatos. No puede ser eliminada por ebullición del agua y también se le conoce como Dureza de No carbonatos o no carbonatada (APHA, 1995; Babor, 1996).

Parámetros Microbiológicos

Coliformes

Los coliformes totales son bacterias en forma de bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas en un lapso máximo de 48 h a 35±1 °C, aunque algunos pueden ser fermentadores tardíos o no fermentadores, como Citrobacter y Serratia, respectivamente. Este grupo está conformado por cuatro géneros principalmente: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella*. La mayoría de estos organismos se encuentran en vida libre, es decir, en el medio ambiente y materia en descomposición, excepto el género *Escherichia* que vive sólo en organismos de sangre caliente (Camacho, *et al.*, 2009; PROY-NMX-AA-042-SCFI-2005).

El grupo de coliformes fecales, está constituido por bacterias Gram negativas capaces de fermentar la lactosa con producción de gas a las 48 h de incubación a 44.5±0.1 °C. Este grupo no incluye una especie determinada, sin embargo la más prominente es *Escherichia coli*, que es un bacilo corto Gram negativo que se encuentra clasificado dentro de la familia Enterobacteriaceae (bacterias entéricas), existe como comensal en el intestino delgado de humanos y animales. Existen algunas cepas de *E. coli* patógenas implicadas en intoxicaciones causadas por el consumo de agua y alimentos contaminados como *E. coli enterotoxigénica*, *E. coli enteropatógena*, *E. coli enterohemorrágica* y *E. coli enteroinvasiva*. Este grupo coliforme es constante, abundante y casi exclusivo de la materia fecal, sin embargo, las características de sobrevivencia y la capacidad para multiplicarse fuera del intestino también se observan en aguas potables, por lo que el grupo coliforme se utiliza como indicador de contaminación fecal en agua; conforme mayor sea el número de coliformes en agua, mayor será la probabilidad de estar frente a una contaminación reciente (Camacho, *et al.*, 2009; PROY-NMX-AA-042-SCFI-2005).

Estos parámetros pueden complementarse para realizar evaluaciones más integrales, a través de métodos como la determinación de grasas y aceites, sulfatos, sulfuros y el cloro están estrechamente ligados con las actividades humanas, pueden causar problemas serios de olor y corrosión, acidificación del agua e interferir con la penetración de la luz solar alterando el ciclo de vida de las comunidades acuáticas (Arce, *et al.*, 2001).

Grasas y aceites

Los lípidos, incluyen gran número de sustancias que tienen, generalmente, como principal característica la insolubilidad en agua, pero son solubles en ciertos solventes como cloroformo, alcoholes y benceno. Las grasas y aceites son ésteres (también llamados triglicéridos, triacilglicéridos o triacilgliceroles) formados por la condensación (unión) de ácidos grasos con glicerol. Son de los compuestos orgánicos más estables y no son

fácilmente biodegradables (mono, di o triésteres de la glicerina, con ácidos grasos de larga cadena de hidrocarburos). De forma general, cuando un triglicérido es sólido a temperatura ambiente se le conoce como grasa, y si se presenta como líquido se dice que es un aceite. En presencia de álcalis, tales como el hidróxido sódico, la glicerina se libera y se forman sales alcalinas de los ácidos grasos (Bailey y Ollis, 1986). Los tipos de grasas y aceites más frecuentemente presentes en los sistemas de alcantarillado o descargas de aguas residuales domesticas corresponden a aceites de tipo vegetal y grasas de tipo animal. También desembocan al alcantarillado, el queroseno y los aceites lubricantes y los procedentes de materiales bituminosos derivados del petróleo, utilizados en la construcción de carreteras. En su mayoría flotan sobre el agua residual, aunque una parte de ellos es arrastrada con el fango por los sólidos sedimentables. Incluso en mayor proporción que las grasas, aceites y jabones, los aceites minerales tienden a recubrir las superficies. Las partículas interfieren con la actividad biológica, se adhieren a las tuberías provocando su obstrucción, mal olor, forman espuma, causan problemas de mantenimiento, entre otros (Metcalf y Eddy, 1985; PROY-NMX-AA-005-SCFI-2008).

Azufre

Las lagunas costeras y manglares comúnmente presentan suelos anaeróbicos en donde el azufre predomina en forma de sulfuros y polisulfuros. Este compuesto resulta, principalmente, de la reducción bacteriana del ion sulfato (SO_4^{2-}) existente en el agua y por la descomposición anaeróbica de proteínas. La bacteria reductora *Desulfovibrio spp.,* utiliza el sulfato como aceptador inorgánico de hidrógeno y produce una gran cantidad de sulfuros en un medio anaeróbico. Los sulfuros así formados se oxidan a otras formas del azufre, dependiendo de las condiciones de oxígeno, pH y microorganismos presentes en el agua, como son el ion sulfhídrico (HS^-) y el anión sulfuro (S^{2-}). El anión sulfuro (S^{2-}) es altamente tóxico para la mayoría de organismos aeróbicos incluyendo la vegetación, debido a que su carácter reductor en medio acuoso provoca una drástica disminución del oxígeno disuelto, lo que afecta a la vida acuática. Los sulfuros, al reaccionar con el agua forman ácido sulfhídrico (H_2S), con el olor característico a huevo podrido, ocasionado que el agua se vuelva más ácida. Cuando se inhala este compuesto, en determinadas concentraciones, puede llegar a ser mortal para las especies que habitan el cuerpo de agua. La transferencia del ácido sulfhídrico a la fase gaseosa depende de la concentración que este disuelta en el agua y la influencia del pH (a pH entre 6.5 a 8.0 generalmente se encuentran las formas $H_2S_{(ac)}$ y HS^-) (Correa, 2008).

Cloro

El ion cloruro (Cl^-), forma sales muy solubles, en aguas muy salinas suele asociarse con el ion Na^+. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero también suele encontrarse valores superiores; el agua de mar está alrededor de las 20,000 ppm. El cloro puede estar presente en el agua como cloro libre disponible y como cloro combinado. Ambas formas pueden existir en la misma agua y juntos se determina como el cloro total disponible. El cloro libre está presente como ácido hipocloroso y/o ion hipoclorito. El cloro combinado existe como monocloramina, dicloramina, tricloruro de nitrógeno y otros derivados del cloro (HACH, 2009). Altas concentraciones de este ion en el agua puede ocasionar serios problemas de corrosión debido a que por su tamaño, puede penetrar la capa protectora en la interfase óxido-metal y reaccionar con el hierro estructural. El ion cloruro se separa con filtros de carbono activado e intercambio iónico, aunque es menos retenido que los iones polivalentes, por lo cual las aguas de alta pureza requieren un pulido final.

II.4. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua no es un criterio completamente objetivo, porque está socialmente definido y depende del uso que se pretende dar al líquido, por lo que cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua se debe ubicar en el contexto del uso probable que tendrá. Debido a la cantidad de parámetros que participan en el diagnóstico de la calidad del agua y a la complejidad que puede presentar, se han diseñado diversos índices para sintetizar la información proporcionada por los parámetros antes mencionados. Estos índices son métodos unificados, donde los indicadores son calculados de igual manera, de tal forma que resulten uniformes e independientes de la capacidad o métodos de observación del operador.

Un índice de calidad de agua (ICA), consiste, básicamente, en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros de naturaleza química, física y biológica, y que está en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles (Fernández, *et al.*, 2003). Los índices implementados actualmente para el monitoreo de los cuerpos de agua permiten evaluar la calidad, aptitud, sostenibilidad y grado de conservación de los mismos, a través del cálculo de su correspondiente ICA (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índices de calidad del agua más utilizados a nivel mundial.

ICA	*Variables incluidas*	Método
Estados Unidos		
NSF	Temperatura, pH, OD, DBO, SDT, turbiedad, coliformes fecales, NO_3 -N y fosfatos total	Curvas - Promedio ponderado
Dinius (1987)	Temperatura (aire-superficie), pH, OD, DBO, color, conductividad, NO_3 -N, alcalinidad, dureza, cloruros, coliformes totales y fecales	Ecuación - Media geométrica ponderada
Agua de Oregón (OWQI)	Temperatura, pH, OD, DBO, ST, NO_2 -N, NO_3 -N, NH4 -N, fosfatos totales y coliformes fecales	Ecuaciones - Cuadrado de la media armónica
Idaho	OD, turbidez, fosfatos totales, coliformes fecales y conductividad	Ecuación -Proporción logarítmica
Canadá		
British Columbia	Se basa en consecución de objetivos los cuales son los límites seguros de las variables dadas por la normatividad.	Fórmulas - Raíz cuadrada de la sumatoria
México		
León (1998)	Diferencia de Temperatura, pH, OD, DBO5, DQO, SST, NO_3-N, NH_4-N, fosfatos, alcalinidad, dureza, fenoles, cloruros, coliformes totales y fecales	Fórmulas -Promedio geométrico ponderado
Montoya (1997)	Conductividad, pH, OD, DBO5, ST, SST, NO_2-N, NO_3-N, NH_4-N, Turbiedad, color, alcalinidad, dureza, cloruros, grasas y aceites, fosfatos, detergentes, coliformes totales y fecales	Ecuaciones- Promedio ponderado
Brasil		
CETESB (2002)	Temperatura, pH, OD, DBO5, ST, turbiedad, coliformes fecales, nitrógeno total y fósforo total	Curvas - Promedio ponderado
Colombia		
Behar, *et al.* (1997)	OD, DBO5 y coliformes fecales	Curvas - Promedio ponderado
Rojas (1991)	pH, OD, DBO5, ST, turbiedad y coliformes fecales	
Icauca	pH, OD, color, turbiedad, DBO5, nitrógeno total, fósforo total, ST, SST y coliformes fecales	
España		
Calidad general (ICG)	Considera 23 parámetros, 9 Básicos (coliformes totales, OD, DQO, DBO5, conductividad, fosfatos totales, SST, NO_3-N, y pH) y 14 complementarios	Gráfica - Promedio aritmético ponderado
Simplificado (ISQA)	Temperatura, OD, DQO, SST y conductividad	Curva – Sumatoria
Comunidad Europea		
UWQI	Cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruro, NO_3-N, OD, DBO5, fósforo total, pH y coliformes totales	Ecuación - Promedio aritmético ponderado

Los índices tienen relevancia porque permiten la comparación de la calidad en diferentes lugares y momentos, facilitan la valoración de los vertidos contaminantes y de los procesos de autodepuración. Su ventaja radica en que la información puede ser más fácilmente interpretada, comparado con una lista de valores numéricos aislados. Es decir, por su elaboración metodológica, los índices de calidad de agua poseen menos información que los datos brutos y muchos usos del agua no pueden ser evaluados mediante los mismos, sin embargo, poseen la capacidad de resumir y simplificar datos complejos y transformar la información, haciéndola fácilmente entendible por el público, los medios, los usuarios y los responsables de la gestión de los recursos.

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar la información de la calidad del agua y su difusión, sin embargo, no pretenden remplazar los medios de transmisión de la información existente. De acuerdo con Ott (1978), los posibles usos de los índices son:

1. Manejo del Recurso: En este caso los índices pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
2. Clasificación de Áreas: Los índices son usados para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
3. Aplicación de la normatividad oficial vigente: En situaciones específicas y de interés, es posibles determinar si está sobrepasando la normativa ambiental y las políticas existentes.
4. Información pública: En este sentido, los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
5. Investigación Científica: Tiene el propósito de simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

Los índices permiten la caracterización de diferentes sistemas acuáticos y ayudan a indagar sobre los factores que determina la calidad del agua. Sin embargo, es necesario incorporar un enfoque espacial más amplio para entender los procesos del escenario geográfico que establece las condiciones de su uso, manejo y conservación.

II.5. PAISAJE, CUENCA Y BATIMETRÍA

Paisaje

El término paisaje se encuentra inmerso en una problemática derivada de las múltiples acepciones, uso, enfoques, métodos y contenidos que pueden llegar a tener estudios igualmente denominados de paisaje. Desde el punto de vista ecológico, algunos autores lo definen como:

- Complejo de interrelaciones derivadas de la interacción de roca, agua, aire, plantas y animales (Dunn, 1974).
- Información que el hombre recibe de su entorno ecológico, incluyendo los componentes perceptibles por los sentidos (fenosistema) y los que no son perceptibles o relaciones de interacción (criptosistema) (González, 1981).
- Superficie geográfica heterogénea, constituida por un grupo de ecosistemas que presentan imagen o apariencia semejante (Ayuntamiento de Castellnovo, 2008).

El paisaje es identificado como la síntesis de los sistemas ecológicos y culturales que lo constituyen. Su expresión se realiza a través de patrones modificables (aspectos bióticos) en función del tiempo y la escala de observación del mismo. Su análisis se realiza identificando los elementos y componentes que pueden estructurar unidades de paisaje; así como, recursos paisajísticos que definen su individualidad y que tienen un valor visual, ecológico, cultural y/o histórico. La unidad de paisaje es la mínima unidad cartografiable que permite representar espacialmente los principales componentes de un ecosistema (estructural y espacialmente). El producto final de este análisis es un mapa de unidades de paisaje compatible con otros modelos de segmentación del territorio, de escalas útiles para una ordenación ecológica y posibles estudios de impactos; por ejemplo, unidades de paisaje localizadas al interior de cuencas, municipios o áreas de interés (Naveh y Lieberman, 1993; Ibarra, 1993).

Estas premisas muestran al paisaje conformado por dos grandes componentes, uno físico que describe la secuencia sobre el territorio del conjunto roca-relieve-suelo, cuya tasa de cambio en el tiempo es baja o muy baja mientras que el otro componente, describe el dominio bioclimático y de uso del suelo, caracterizado por un gran dinamismo a varias escalas temporales. Ambos componentes pueden manipularse por separado en bases de datos geográficos automatizados y combinarse sistemáticamente sin perder su individualidad cuando sea necesario (Figura 6).

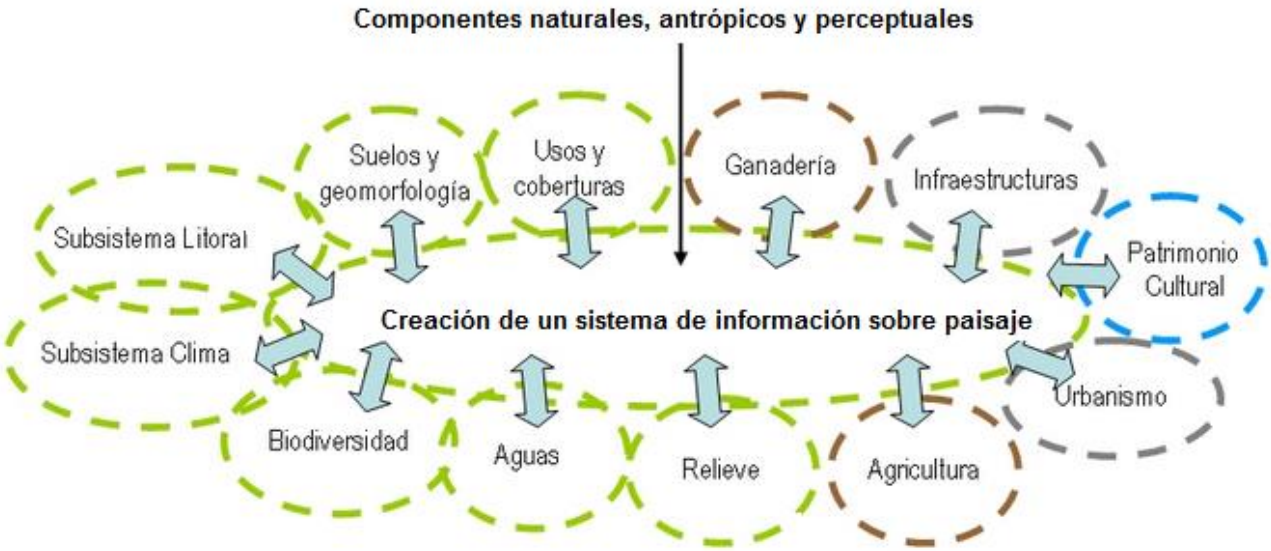

Figura 6. Gestión del paisaje desde un punto de vista integral.

Los estudios del paisaje presenta diversos campos de aplicación destacando la ordenación del territorio, la evaluación del impacto ambiental, recuperación de zonas alteradas, conservación, protección de espacios naturales y educación ambiental en la cual el paisaje constituye una herramienta en la sensibilización social respecto a la problemática medioambiental, el desarrollo económico, por su relación con el sector turístico, entre otros. Este tipo de estudios, permite a las autoridades y los particulares asumir la responsabilidad de prevenir, minimizar o reparar los daños causados según la formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas vigentes (LGEEPA, 2011).

Enfoque geomorfológico de paisaje

La Tierra es un gran ecosistema cuya fisonomía es resultado del intercambio de materia y energía que se produce entre cuatro sistemas ó subsistemas principales: geológico-geomorfológico, climático, biogeográfico e hidrológico. A lo largo de la historia geológica, los procesos interiores o endógenos (formadores del relieve) han actuado mancomunadamente con los procesos superficiales o exógenos (modeladores del relieve) de la corteza terrestre, contribuyendo tanto en el pasado como en la actualidad, al modelado del paisaje natural. La superposición de estos procesos naturales han actuado con diversa intensidad y frecuencia, quedado representados en el relieve por una amplia diversidad de rasgos y patrones morfológicos que, descritos e interpretados adecuadamente, pueden ser aislados y clasificados de manera coherente (Grau y Sala, 1982; Duque-Escobar, 2003).

La regionalización a partir de las formas de relieve es la base de la mayoría de las estrategias de clasificación del terreno y el paisaje, las características del sustrato abiótico (controladas por el tipo de roca, expresado en un relieve concreto modificado por las condiciones climáticas) facilitan su segmentación en unidades relativamente homogéneas a menor o mayor detalle (zonificación de relieve o paisaje geomorfológico y formas de relieve) (Bocco y Mendoza, 1997).

El proceso de organización territorial es un ejercicio de síntesis interdisciplinaria que requiere de una cantidad sustancial de datos espaciales y atributos territoriales, en un eje temporal específico. La definición de unidades espaciales apropiadas, que sirvan como base territorial para evaluar la oferta ambiental y la demanda social, así como su manejo, deben describir tanto los componentes relativamente estables del terreno (roca, forma del relieve y suelos, en forma integrada), como los menos estables, cuya tasa de cambio en el tiempo es mas alta (vegetación y uso de suelo, fauna). Ambos componentes se pueden combinar en unidades integrales de paisaje (o de ecología de paisaje), cuando sea conveniente (Bocco, *et al.*, 1999). Los componentes de estas unidades territoriales homogéneas se definen mediante la utilización de técnicas de observación del terreno, cartografía digital y verificación selectiva en campo. Como estas unidades territoriales deben ser aptas para modelar varios niveles (nacional, estatal, municipal), y por tanto diversas escalas, se debe utilizar un enfoque jerárquico y multiescalar, que permita moverse de lo general a lo particular y viceversa (Bocco, *et al.*, 1999).

Los esquemas de regionalización biofísica dirigidos a evaluar un territorio con fines de planificación, han sido desarrollados utilizando diversos enfoques, entre los que se encuentran el levantamiento de tierras (land system CSIRO); el levantamiento geomorfológico (geomorphological surveying); el enfoque morfoedafológico; levantamiento de ecología del paisaje (landscape ecological surveying); levantamiento geoedafológico; la regionalización ecológica de SEDUE, 1986; el sistema fisiográfico de INEGI (Quinones, 1987) y el levantamiento fisiográfico de suelos elaborado por la Universidad Autónoma Chapingo (Cuanalo, 1977; Santos, *et al.*, 1985-86).

El sistema de levantamiento geomorfológico, establecido por el entonces Instituto de Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC), en Enschede, Países Bajos (Verstappen y Van Zuidam, 1975), busca la delimitación de unidades físico-ambientales, y se propone como una de las principales fuentes de

datos para la comprensión integral del medio con fines de planificación de recursos (Verstappen, 1983; Van Zuidam, 1985).

El paisaje geomorfológico es un ensamble de unidades naturales homogéneas. Vistas desde su geología, relieve y drenaje superficial, son los elementos y los componentes principales que guían y dan sentido a la uniformidad relativa de cada estructura espacial. De esta manera, la identificación de las unidades del paisaje supone una regularidad interna que es el resultado de los procesos formadores del mismo (clima, relieve, hidrología, bioprocesos y actividades humanas, entre otros). La fisonomía resultante del paisaje constituye la unidad de terreno reconocible y diferenciable de otras vecinas (Ortiz y Oropeza, 2010). Los rasgos geomorfológicos de una región guían en gran medida la distribución de la flora y la fauna, el uso de los recursos naturales, la ubicación de los asentamientos humanos y las actividades básicas de la población (Geissert, 1999).

El mapa geomorfológico se utiliza para establecer de forma clara y concreta la distribución y la configuración espacial de los elementos y componentes más significativos del paisaje (Ortiz y Oropeza, 2010). El levantamiento de la cartografía geomorfológica se basa en la fotointerpretación y utilización diversas técnicas analíticas que involucran el manejo automatizado de las bases de datos de un sistema de información geográfica (SIG) (Bocco, *et al.*, 1999). De acuerdo a Ortiz y Oropeza (2010), la cantidad y calidad de la información que se obtiene del levantamiento geomorfológico deriva de la relación de los siguientes pasos metodológicos:

1. Establecer la identidad de los objetos y elementos detectados en las imágenes, clasificarlas y ordenarlas jerárquicamente.
2. Reconocimiento, diferenciación y delimitación de la morfología del terreno, examinando los procesos morfogenéticos a través de claves analíticas e indicadores inherentes al modelado del paisaje.
3. Identificación de los patrones de diseño de la red hidrográfica y su significado en términos del grado de disección, profundidad y grado de control estructural que ejerce la geología y presencia de modelos de erosión, de formas de acumulación y mixtos.
4. Relación con la topografía (hipsometría y pendiente del terreno) y la longitud de laderas con la disposición de la estructura geológica-geomorfológica mediante la técnica de superposición de capas, a fin de crear una caracterización compuesta de mayor evidencia del relieve.
5. Identificación de los niveles base locales de la red hidrográfica en función de su altura, posición en el relieve y la dirección de los flujos (unidireccionales, polidireccionales, de dobles sentidos, de reflujo, interconexiones laterales y verticales), como una referencia de integración funcional de los tipos de interacción que le imprimen una dinámica propia al paisaje geomorfológico.
6. Relación con los usos del suelo y la infraestructura con la técnica de superposición, en función de la distribución del paisaje geomorfológico, con el objeto de visualizar e identificar problemas del impacto potencial y la incompatibilidad de las características geomorfológicas del paisaje con el uso del suelo, el tipo de desarrollo y la infraestructura.

La descripción de las unidades cartográficas permite sugerir sitios para la evaluación del paisaje y la conservación de la biodiversidad, principalmente en las áreas que presenten un interés ecológico, ambiental, estético, recreativo o turístico, y puede aún ser una amenaza, dada la probabilidad de que un fenómeno de

inestabilidad geomorfológica de cierta magnitud ocurra en un territorio dado durante un periodo de tiempo definido (Panizza, 1996; Geissert, 1999). Por estas razones, los estudios geomorfológicos son de gran importancia y utilidad en los proyectos de ingeniería civil, ordenamiento ecológico y de impacto ambiental; de manejo de cuencas hidrológicas, análisis de riesgo ambiental y de planeación rural y urbana, entre otros (Bocco, *et al.*, 1999; Geissert, 1999).

Cuenca

La cuenca es un concepto geográfico e hidrológico que se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una Laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenca endorreica. Cuando sus descargas llegan hasta el mar se les denominan cuencas exorréicas. Normalmente la corriente principal es la que define el nombre de la cuenca (CONAGUA, 2007).

El territorio de México está formado por múltiples cuencas. Algunas de las más importantes cuencas exorréicas corresponden a los grandes ríos nacionales como Lerma, Santiago, Balsas, Bravo, Pánuco, Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva, Usumacinta, Mayo, Yaqui y otros de menor tamaño. Cada uno de estos importantes ríos tiene corrientes alimentadoras que se forman con las precipitaciones que caen sobre sus propios territorios de drenaje a las que se les llama cuencas secundarias o subcuencas. A su vez, cada subcuenca tiene sus propios sistemas hidrológicos que les alimentan sus caudales de agua. Estas son cuencas de tercer orden y así, sucesivamente hasta territorios muy pequeños por los que escurre el agua sólo durante las temporadas de lluvia y por períodos muy cortos de tiempo. Para los fines de formulación y ejecución de las políticas públicas relacionadas con el agua y de participación en la gestión integral del recurso, interesan sólo tres niveles de cuenca. Las macrocuencas que corresponden a grandes sistemas hidrológicos. Las subcuencas o cuencas de segundo orden y un tercer nivel que puede denominarse de microcuencas (CONAGUA, 2007).

La gestión del agua por cuenca hidrográfica es el conjunto de actividades, funciones, organización, recursos, instrumentos de política y sistemas de participación, aplicados en un territorio de cuenca, que se relacionan con la medición de las variables del ciclo hidrológico, la explotación, uso, aprovechamiento, conservación, manejo y control de la calidad del agua, su saneamiento, construcción, mantenimiento y operación de las obras hidráulicas, entre otros. La gestión integral de las cuencas hidrológicas consiste en armonizar el uso, aprovechamiento y administración de todos los recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna) y el manejo de los ecosistemas comprendidos en una cuenca hidrográfica, tomando en consideración, tanto las relaciones establecidas entre recursos y ecosistemas, como los objetivos económicos y sociales, así como las prácticas productivas y formas de organización que adopta la sociedad para satisfacer sus necesidades y procurar su bienestar en términos sustentables (CONAGUA, 2007; 2011).

Batimetría

La morfometría de un lago determina en gran medida sus procesos biofísicos (Margalef, 1983). Entre las variables del comportamiento morfológico de un sistema acuático continental, la profundidad ha servido

tradicionalmente para intentar explicar aspectos o procesos que rebasan el ámbito de lo propiamente físico. Al ser resultado de fenómenos inmediatos o de corto plazo, emanados del comportamiento hidrológico de un ecosistema acuático, pero también de aquellos de carácter histórico o más lentos como podría entenderse al depósito sedimentario, la profundidad está relacionada con el origen y los rasgos evolutivos de un ecosistema continental, e inclusive tiende a modificarse como resultado de algunos procesos de alteración ambiental, entre lo que se puede mencionar a la eutrofización antropogénica. Algunos autores han señalado la importancia de la profundidad para predecir los niveles de productividad biológica o las condiciones de mezclado y estratificación del epilimnio (Rawson, 1955; Henderson-Seller y Gornitz, 1984). Conocer la batimetría y su comportamiento seccional o longitudinal también permite establecer la dinámica hidrológica que presentan los ecosistemas acuáticos y su expresión cuantitativa en los diversos ensamblajes bióticos (relacionados con el fitoplancton, necton o bentos). Otra aplicación de la medición batimétrica se vincula con los modelos predictivos de la productividad pesquera, si conjuntamente con ella se determina la conductividad o la concentración de sólidos disueltos totales. Con esas tres variables se han propuesto estimadores de rendimiento pesquero robustos, pero escasamente validados en condiciones tropicales, como el denominado índice morfoedáfico (Ryder, 1965).

El levantamiento batimétrico consiste en la medición mediante un instrumento llamado ecosonda, de la profundidad del lugar respecto del nivel del agua. La ecosonda es un instrumento que mide el tiempo en que una señal acústica tarda en viajar desde la sonda emisora ubicada unos centímetros debajo de la superficie de agua hasta reflejarse en el fondo y ser captada por el receptor ubicado en el mismo emisor. Este tiempo es transformado en distancia, previa calibración y el dato registrado en un papel o en forma digital en un registro magnético. Simultáneamente mediante un sistema de posicionamiento satelital, GPS, se optiene la posición de la embarcación, en coordenadas geográficas, las cuales son convertidas a un sistema de coordenadas en alguna de las formas de representación que se utilizan actualmente como UTM (Universal transversal de Mercator).

Para mejorar la precisición de estos sistemas de posicionamiento, en general se utiliza un sistema llamado diferencial, mediante el cual utilizando una estación fija en tierra que esta ligada mediante radio a la estación móvil en la embarcación, se realiza un ajuste de la posición ante eventuales errores transmitidos por el sistema de satélites. De esta manera se optiene en forma casi continua datos de posición y profundidad, medida respecto de la superficie del agua. Con los datos de mares se corrigen las profundidades medidas llevándolas todas a un mismo plano de comparación conocido como plano de reducción de sondaje. De este modo se puede obtener una vez procesado el dato, un plano llamado batimétrico de la zona, donde se vuelcan las profundidades. Estos planos se complementan con el trazado de curvas de igual nivel llamadas curvas batimétricas, las que pueden ser obtenidas de forma automática mediante programas de interpolación gráfica o manualmente (Petroni, 2005). La batimetría y la dinámica de las masas de agua en una determinada región son importantes para entender el desarrollo y comportamiento de la flora y fauna presentes en ella.

II.6. GEOMÁTICA Y VISUALIZACIÓN

La cuantificación, análisis y visualización de las cuencas y la batimetría pude relizarse de manera más adecuada mediante el uso de la geomática. Esta disciplina consiste en la integración de múltiples tecnologías, como son los sistemas de información geográfica (SIG), la teledetección aérea y espacial, los sistemas de

posicionamiento global (GPS) y representa una valiosa herramienta para el manejo y gestión de bases de datos geográficas y territoriales (Tkach y Simonovic, 1997). La geomática abarca las mediciones, el análisis, el manejo, almacenamiento y el despliegue de descripciones y localizaciones de datos geoespaciales o terrestres para el apoyo de actividades científicas, administrativas y legales tendientes todas ellas a una mejor calidad de vida (Figura 7).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una colección organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial, y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada (ESRI, 2003). Así, con los SIG es posible ver, comprender, cuestionar, interpretar y visualizar los datos en muchos aspectos que revelan las relaciones, patrones y tendencias en forma de mapas, globos terráqueos, informes y gráficos (Santiago, 2005). La tecnología de los SIG puede ser utilizada para investigación científica, manejo de recursos naturales, manejo de activos en el espacio, evaluación de impacto ambiental, planificación urbana, cartografía, planeación de rutas y estudios de localización, entre otras aplicaciones.

Consejal (2007) define a la geovisualización (GVIS) como la disciplina que estudia la exploración, análisis, síntesis y presentación de datos geoespaciales, y cuyos objetivos pueden incluir: modelado digital de terrenos, visualización de terrenos, visualización fotorrealista, modelización de SIG en internet, cartografía analítica, estructuras de datos para mapas 3D interactivos, manejo y distribución de modelos de terrenos, visualización 3D en tiempo real, simulación de procesos geoespaciales, análisis geoespacial.

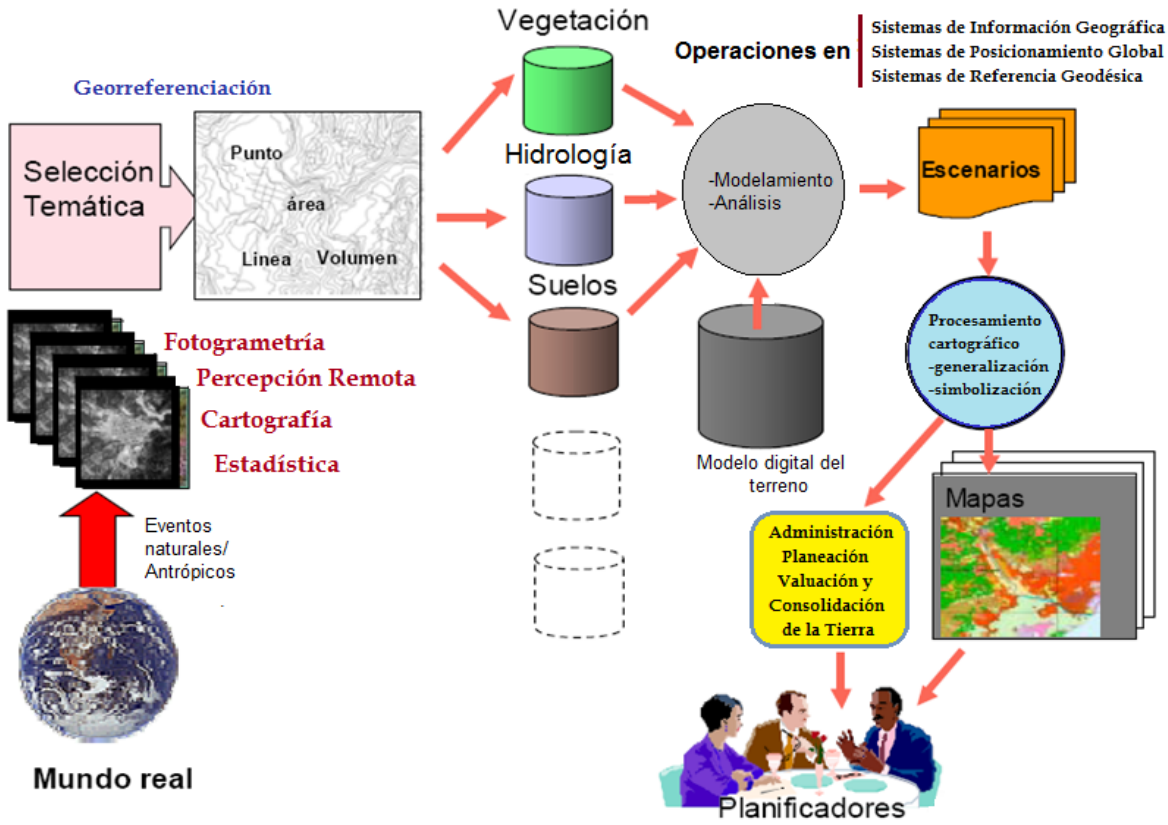

Figura 7. Aplicación de la geomática en la solución de problemas y toma de desiciones.

La reconstrucción digital 3D es una rama de la visión artificial que consiste en tratar de reproducir la geometría de un objeto real, en un modelo digital en el computador, con el cual se pueda interactuar por medio de rotaciones, acercamientos y/o modificaciones, haciendo uso de herramientas de interpolación, extrapolación y modelado geométrico. Las nuevas herramientas de la GVIS en cartografía sirven para percibir y analizar la realidad que contribuye a comprender los cambios, sintetizar, interpretar las causas y consecuencias de los mismos, apoyar las decisiones y concientizar, principalmente.

Algunos ejemplos de aplicaciones de la geomática para la resolución de la problemática del agua son:

- Los estudios de sellamiento de superficies permeables y aptas para el proceso de recarga del acuífero (Tapia y Mora, 2004)
- La determinación de la variabilidad espacial de la vulnerabilidad de un acuífero a ser contaminado y la ubicación de fuentes de contaminación (puntos o zonas geográficas) de cuerpos de agua superficiales o subterráneos (Ramos, *et al.*, 2010).
- La determinación de la influencia de la deforestación en el incremento de escorrentías (Tapia, *et al.*, 2007).
- La generación de cartografía de la variabilidad espacial y temporal de algunos elementos hidrológicos y climáticos (Gochis, *et al.*, 2007).
- Los estudios de disponibilidad, balance y de consumo del recurso hídrico para cultivos se auxilian de estudios de estimación de evaporación mediante percepción remota (Coronel, *et al.*, 2008).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Coyuca de Benítez no dispone de obras de infraestructura hidráulica, como presas, para el almacenamiento de agua y su aprovechamiento para fines agropecuarios y de reserva para el consumo humano, por lo que puede plantearse que la disponibilidad de agua para estos fines es baja, con excepción de la parte del palmeral donde existe el aprovechamiento de aguas subterráneas para el riego de cultivos, como son el mango, plátano y legumbres como la albahaca (POET, 2009). Así mismo, está ampliamente difundido, sobre todo en la parte cercana a las playas, la extracción de agua para consumo humano mediante pozos artesanales.

La contaminación del agua es un factor que incide en la zona sur del municipio y en particular sobre la Laguna de Coyuca, la cual presenta grados crecientes de contaminación, que afecta tanto a la pesca comercial y deportiva, así como a las actividades recreativas y turísticas. Las principales fuentes de aguas residuales de tipo doméstico, así como de residuos sólidos, son el río Coyuca, el cual recibe las descargas de diversas comunidades como La Cabecera Municipal, Las Lomas y El Bejuco, hasta el punto de encuentro con la Barra de Coyuca. Contribuyen a este problema las descargas de las granjas piscícolas ubicadas en la localidad de San Nicolás, así como la infiltración de agua residual que generan las viviendas, restaurantes y otros comercios y servicios localizados a lo largo de la Barra de Coyuca. También se ha detectado la presencia de agroquímicos procedentes de la zona agrícola, favoreciendo de este modo, la proliferación de la vegetación acuática como el tule, carrizo y lirio acuático que son indicadores biológicos de contaminación por descargas de aguas residuales sin tratamiento o con un tratamiento deficiente (Alcocer, 2002; POET, 2009; Tovilla-Hernández, 2009). Según datos del INEGI, aproximadamente la totalidad de las viviendas ubicadas en la franja costera de la Laguna de Coyuca cuenta con drenaje, sin embrago, predomina el uso de fosas sépticas cuyo diseño propicia filtraciones que pueden provocar graves problemas de contaminación (POET, 2009).

El ecosistema lagunar de la zona, conformado especialmente por manglares, peces, crustáceos, moluscos, aves y otras formas de vida, se encuentra también bajo el impacto de la contaminación de las aguas en las que se desarrollan (Mora, *et al.*, 2009). La situación actual indica que no existen sistemas completos de drenaje, ni un tratamiento adecuado de las aguas residuales, las cuales finalmente inciden en la contaminación de la Laguna de Coyuca (POET, 2009).

IV. JUSTIFICACIÓN

Las lagunas costeras son ecosistemas que, por estar ubicados al final de las cuencas de drenaje, son muy sensibles a las modificaciones de su entorno, particularmente en zonas donde se presenta gran actividad económica y turística, como las zonas del golfo que se ven afectadas por la intensidad de las actividades petroleras, las cuales vierten al mar gran cantidad de desechos, producto de los procesos de exploración y explotación del crudo. Del lado del Pacífico se tienen actualmente problemas de contaminación a lo largo del sistema lagunar de Acapulco, Guerrero, integrado por la Laguna de Coyuca, la bahía de Acapulco, la Laguna Negra y la Laguna de Tres Palos. La explosión demográfica ha traído como consecuencia una degradación de la zona o cuencas que confluyen al sistema lagunar, provocando que grandes cantidades de desechos sean arrastrados por los ríos, sobre todo en temporada de lluvias, hasta su desembocadura en las lagunas o el mar.

En las últimas décadas, los cuerpos de agua de la Subcuenca Bahía de Acapulco han sido receptores de ingresos excesivos de nutrientes y contaminantes aportados por las actividades humanas, ocasionando la eutrofización del sistema, particularmente de la Laguna El Zarzal y en menor medida la Laguna de Coyuca. El crecimiento poblacional y la constante actividad turística, comercial, agropecuaria e industrial en el municipio de Coyuca de Benítez, Guerrero, genera grandes cantidades de aguas residuales. Del total de dichas descargas, sólo un bajo porcentaje es canalizado a los sistemas de tratamiento, ocasionando la contaminación de la Laguna de Coyuca. Destacan las descargas o infiltración de aguas residuales y la disposición inadecuada de residuos peligrosos de origen hospitalario, agroquímicos, así como productos relacionados con el mantenimiento de vehículos automotores y lanchas.

Por lo anterior, es necesario evaluar de la calidad del agua de la Laguna de Coyuca para comprender adecuadamente su comprensión actual y detectar los procesos, usos y actividades humanas que alteran la calidad del recurso y del paisaje en su conjunto. Esta evaluación permite identificar tanto los aspectos particulares de la calidad del agua así como desde una perspectiva de paisaje reconociendo las posibles influencias del entorno. De esta manera, se podrán aportar elementos que contribuyan a mejorar el manejo del recurso y minimizar los impactos negativos que puedan provenir de la pesca, la acuacultura, el turismo, la recreación y la salud pública.

V. OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la calidad del agua de la Laguna de Coyuca de Benítez, Estado de Guerrero e integración de los paisajes asociados.

Objetivos Particulares

- Elaborar un modelo del paisaje terrestre asociado a la Laguna de Coyuca mediante la interpretación de capas de información e imágenes de satélite que cubran el área de estudio.

- Realizar un estudio morfométrico de la Laguna que sirva como elemento básico para el conocimiento del sistema y posteriores estudios limnológicos.

- Evaluar la calidad del agua de la Laguna, mediante parámetros físicos, químicos, biológicos y el cálculo del Índice de Calidad del Agua.

- Elaborar un modelo de geovisualización tridimensional que integre los paisajes asociados, la batimetría y las bases de datos de calidad del agua, que fortalezca la comprensión del estado, uso y manejo de la Laguna de Coyuca de Benítez.

VI. ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Coyuca que se encuentra dentro del municipio de Coyuca de Benítez, se extiende paralelamente al litoral de la bahía de Acapulco y se localiza en el conjunto de lagunas costeras del estado de Guerrero entre los 16°54' latitud Norte y los 100°03" longitud Oeste. Posee dos pequeñas islas: la Montosa y la Pelona actualmente conocida como Isla de las Aves. La Laguna de Coyuca de Benítez es un cuerpo de agua somero de volumen variable, dependiente de las épocas de secas y de estío (Figura 8). Posee un fondo predominantemente fangoso y características topográficas y superficiales muy irregulares (Klimek, 1978; Yáñez, 1978).

Figura 8. Laguna de Coyuca y las cinco estaciones de muestreo.

La Laguna desemboca al Oeste por un canal de aguas salobres y abundante en peces, el cual está separado del mar por una barrera de arena de aproximadamente 500 m de ancho, conocida como Barra de Coyuca (Aguirre, 2001). Ésta, permanece cerrada en época de estiaje, en la época de lluvias se abre de manera natural, o con la intervención de los pobladores (Figura 9). La Laguna se retroalimenta con los aportes hídricos de 19 escurrimientos superficiales de escaso trayecto, los cuales se activan en la época húmeda del año (POET, 2009).

Figura 9. Barra de Coyuca, conexión temporal con el Océano Pacífico (Cruz, 2009).

Este cuerpo de agua presenta un régimen biestacional (por períodos de dos estaciones las condiciones ambientales y biológicas se mantienen con características similares) que llega a modificar la densidad del agua, a través del incremento de la materia orgánica particulada y de la concentración de la clorofila *a* durante la época de estiaje (Delgadillo, 1986; Monreal, 1991). La vegetación circundante a la Laguna es muy diversa y está formada predominantemente por plantas halófitas, entre las que se encuentran asociaciones de tular, carrizal, manglar, huizachal y palmar.

Dentro de la Laguna se presenta lirio acuático diseminado a través del canal que conduce a la Barra de Coyuca (Guzmán y Rojas, 1976). La planicie costera donde se encuentra enclavada la Laguna presenta un clima tropical subhúmedo, con lluvias en verano y sequías en invierno, con canícula o sequía estival (García, 1988). La época de lluvias ocurre entre mayo y octubre, con un intervalo de precipitación que oscila entre 15 y 235 mm, alcanzando un máximo hacia julio. Durante el período de primavera-verano se presentan vientos dominantes del sureste, con velocidad promedio de 4.6 m/s, y dominantes del Norte durante el invierno (Ayala, 1966). Durante el período de agosto a octubre se pueden presentar perturbaciones ciclónicas que penetran al territorio a través de esta costa. Esta Laguna es una importante generadora de empleo para los pescadores y prestadores de servicios turísticos.

En el municipio de Coyuca de Benitez, Guerrero, la población rural carece de servicios públicos como drenaje, además existe marginación de los dueños de los terrenos y acaparamiento de grandes extensiones de suelos que se destinan a la construcción de desarrollos turísticos y urbanos. Los poblados El Embarcadero, Los Mogotes, La Estación, El Barandero y La Barra de Coyuca presentan algunas zonas de descargas de aguas residuales, deforestación de manglares y el relleno de las zonas de humedales, además de una incipiente contaminación visual como resultado de los residuos sólidos urbanos que no son recolectados (Naú y Niño, 2009; POET, 2009).

VII. MÉTODO

VII.1. MODELO INTEGRAL DEL PAISAJE

La clasificación de los paisajes consistió en delimitar la zona a partir de la subcuenca Bahía de Acapulco (escala 1:200,000), tomando como base el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) de INEGI. Se tomó como punto de partida el mapa de unidades de paisaje propuesto en el Ordenamiento Ecológico del Municipio de Coyuca de Benítez (POET, 2009), el cual fue contrastado mediante recorridos de campo y modificado de acuerdo con las capas temáticas de uso de suelo y vegetación, clima y edafología de la República Mexicana a escala 1:1,000,000 públicados por el portal geográfico de la CONABIO, con proyección sistema de coordenadas geográficas, *datum* NAD27 (Cuadro 2). Estos criterios son relativamente constantes a escala de la vida humana (Bunce, *et al.*, 1996).

Cuadro 2. Recursos utilizados en la clasificación de paisaje.

Capa de información	Formato	Descripción
Inventario Nacional de Gran Visión, 1991-1992: uso de suelo y vegetación	Formato de representación geográfica:	Shapefile. Formato vectorial compuesto por 4 archivos (shp, shx, dbf, prj).
	Escala:	1:1,000,000
	Fecha de publicación:	05-07-2001
Edafología	Formato de representación geográfica:	Shapefile. Formato vectorial compuesto por 4 archivos (shp, shx, dbf,prj).
	Escala:	1:1,000,000
	Fecha de publicación:	10-07-2001
Climas	Formato de representación geográfica:	Shapefile. Formato vectorial compuesto por 4 archivos (shp, shx, dbf, prj).
	Escala:	1:1,000,000
	Fecha de publicación:	11-05-2001
Subcuencas hidrológicas	Formato de representación geográfica:	Shapefile. Formato vectorial compuesto por 4 archivos (shp, shx, dbf, prj).
	Escala:	1:1,000,000
	Fecha de publicación:	11-05-2001
Imagen de satélite MrSID	Formato de representación geográfica:	Landsat Raster. Formato raster compuesto por 6 archivos (sid, jpeg, met, prj, sdw, xml).
	Escala:	
	Fecha de publicación:	2000
Modelo digital de elevación	Formato de representación geográfica:	Conjunto de Datos Raster (bil)
	Escala:	1:50,000
	Fecha de publicación:	2010 (CEM 2.0)

Con el fin de tener un contexto más amplio y delinear de una mejor manera la zona de estudio se empleó un modelo digital de elevación (MDE) de INEGI, con proyección sistema de coordenadas geográficas, *datum* ITRF92 y, una imagen de satélite MrSID (Multi-resolution Seamless Image Database, por sus siglas en inglés) integrada a partir de diferentes escenas con fechas alrededor del año 2000 tomadas por el satélite Landsat 7, que fue descargada del servidor de la NASA (http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/). Sobre estas capas fue posible discriminar y digitalizar lod difrentes tipos de paisajes. Cuando se presentaron dudas sobre la interpretación de las coberturas, se recurrió a las imágenes en detalle de Google Earth. Para homogeneizar la

información, todas las bases de datos SIG y capas de información fueron re-proyectadas al sistema de coordenadas UTM, con *datum* WGS84.

VII.2. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRÍCO

Se construyó un modelo batimétrico de la Laguna de Coyuca a partir de datos medidos *in situ*. El levantamiento de reconocimiento en la Laguna se realizó, utilizando el método de líneas rectas paralelas al eje longitudinal, los cuales cruzaron longitudinalmente el cuerpo de agua, así como algunos transectos de cruce en zonas con presencia de islas. El sondeo se efectuó a bordo de una embarcación, utilizando una ecosonda marca Lowrance-Electronics, durante los meses de julio y agosto de 2010 (Figura 10). La información generada a partir de la ecosonda con proyección en sistema de coordenadas geográficas, *datum* WGS84, fue capturada en un archivo con formato Excel; las unidades fueron cambiadas de grados a metros y transformada a una capa vectorial de datos espaciales con formato *shape* (.shp) en el software ArcGis 10, con proyección UTM, *datum* WGS84. Con el fin de delinear de una mejor forma el contorno de la Laguna, se anexó a al archivo Excel una serie de puntos geoposicionados en Google Earth con la misma proyección cartográfica.

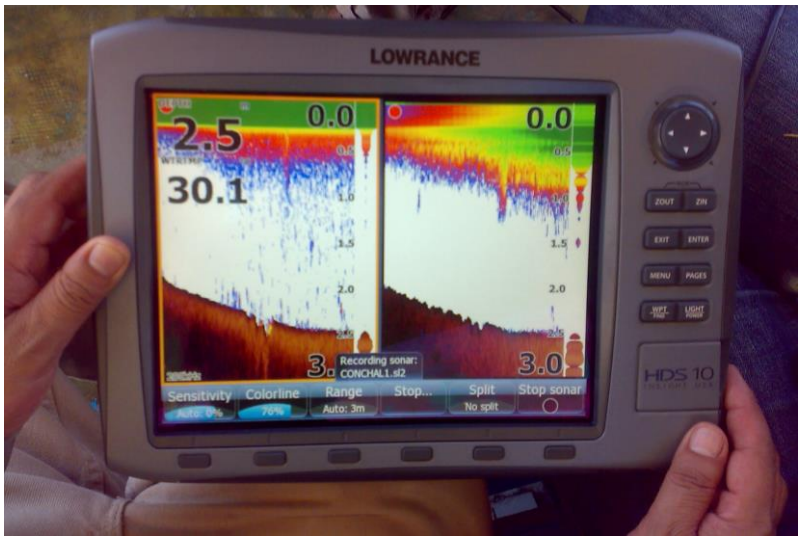

Figura 10. Levantamiento batimetrico con ayuda de la ecosonda Lowrance-Electronics.

Posteriormente, se creó una capa vectorial en red irregular triangulada (TIN, por sus siglas en inglés) construida en una superficie de puntos ubicados en forma irregular que forman una red de triángulos con un valor de profundidad (Z) para cada nodo, permitiendo representar con precisión partes del terreno que tienen cambios contrastantes en su forma y al mismo tiempo preservar la ubicación precisa y forma de los elementos de la superficie, como por ejemplo lagos o islas (conjunto cerrado de triángulos), puentes (conjunto de triángulos conectados), picos de montañas (nodo de un triángulo). El producto final resultante es el mapa batimétrico también conocido como modelo subacuático del terreno.

VII.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LA LAGUNA

Se definieron cinco puntos de muestreo a lo largo de la Laguna de Coyuca con ayuda del visualizador Google Earth: Pie de la Cuesta-Zona Turística (ZT), El Embarcadero, el Canal de la Laguna, La Estación y el punto

intermedio entre la Barra y el Río Coyuca. La selección de estos sitios se debio a que son áreas proximas a asentamientos humanos y descargas de aguas superficiales lo cual permite establecer una relación entre la dinamica del sistema y los posibles impactos generados de las actividades productivas, turísticas y comerciales de la zona (Figura 8). Los muestreos se realizaron con ayuda de una embarcación con motor fuera de borda, cada punto de muestreo fue referenciado con un receptor GPS, marca Garmin modelo Plus IV utilizando *datum* WGS84. Las muestras de agua se tomaron desde la embarcación a nivel de superficie de forma manual y a una profundidad promedio de 2.5 m, con una botella Van Dorn, en frascos de polietileno y vidrio de capacidad de 1 L previamente etiquetados (Figura 11). Se adicionaron preservadores (Cuadro 3) en los casos necesarios y se conservaron las muestras hasta su análisis en refrigeración a 4 °C, con el fin de evitar su deterioro o contaminación.

Figura 11. Muestras agua de colectadas en la Laguna de Coyuca.

Se hicieron registros *in situ* de la temperatura, pH, conductividad, visibilidad y oxígeno disuelto (OD) con un potenciómetro, conductímetro, disco de Secchi y el multiparámetros portátil marca YSI professional. En el laboratorio se procesaron las muestras según las técnicas estandarizadas (APHA, 1995), normatividad oficial vigente (NOMs) y el Manual HACH (HACH, 2009; Figura 12).

La determinación de sólidos totales (ST), se llevó a cabo considerando la NMX-AA-034-SCFI-2001, evaporando un volumen conocido de muestra (100 ml) y secando el residuo en estufa a 105 °C, hasta su peso constante, con el peso de los residuos se estima la cantidad de sólidos y sales disueltas así como la cantidad de materia orgánica presente en una muestra de agua, el resultado se indica en mg/L. Esta medida permite conocer el contenido total de sustancias no volátiles presentes en el agua.

La concentración de cloro libre se cuantificó por el método DPD (N, N-dietil-p-fenilendiamina) (Método HACH 8021) con intervalo de detección 0 a 2.00 mg/L. El cloro en la muestra, en forma de ácido hipocloroso o iones hipoclorito (cloro libre o cloro libre disponible) reacciona inmediatamente con DPD (N, N-dietil-p-fenilendiamina) para formar un color magenta que es proporcional a la concentración de cloro, detectando fotométricamente a una longitud de onda de 530 nm.

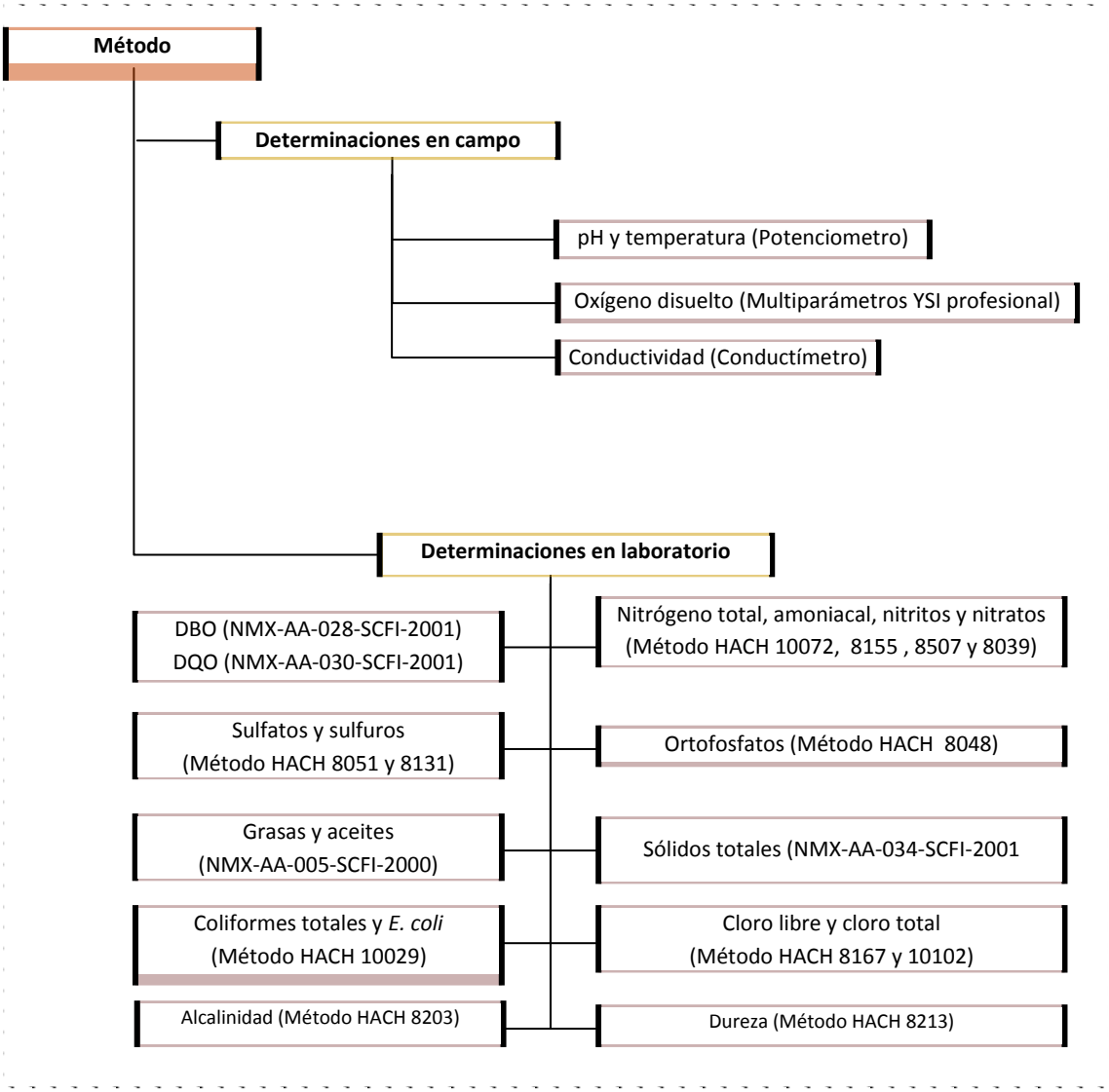

Figura 12. Métodos estandarizados para determinar la calidad del agua.

Cuadro 3. Acción y aplicación de preservadores para muestras de agua.

PRESERVACIÓN	ACCIÓN	APLICACIÓN
Acido nítrico (HNO_3)	Solvente de metales, previene la precipitación	Metales
Ácido sulfúrico (H_2SO_4)	Inhibidor bacteriano o formador de sales con bases orgánicas	Grasas y aceites, nitrógeno
Refrigeración 4 °C	Inhibidor bacteriano	Sólidos en todas sus formas, color, DBO, coliformes totales y fecales, bacteriológicos, helmintos, carbón total y fósforo en todas sus formas
Hidróxido de sodio (NaOH)	Formador de sales con compuestos volátiles	Cinanuros
Formaldehído	Inhibe crecimiento	Huevos de helminto

Para evaluar la concentración del cloro total se siguió el Método DPD (N, N-dietil-p-fenilendiamina) (Método HACH 8167) con intervalo de detección 0 a 2.00 mg/L. El cloro combinado oxida el reactivo de yoduro a yodo. El yodo reacciona con DPD (N, N-dietil-p-fenilendiamina) junto con el cloro libre presente en la muestra para formar un color rojo que es proporcional a la concentración total de cloro.

Se evaluó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) siguiendo el método de la norma NMX-AA-028-SCFI-2001, que consiste en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20 °C. Para la determinación de la demanda química de oxigeno (DQO) se utilizó la norma NMX-AA-030-SCFI-2001, cuyo principio parte de una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos que son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Después de la digestión, el dicromato no reducido se midio espectrofotométricamente y a partir de la lectura que indica la cantidad de dicromato consumido se calculó la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.

La detección simultánea de coliformes totales y *Escherichia coli* (*E. coli*) se realizó por filtración en membrana (método HACH 10029), que se basa en la filtración de una muestra directa o una alícuota de la muestra a través de una membrana de celulosa que retiene los organismos, la membrana se coloca dentro de una caja Petri en un cojinete absorbente saturado con medio líquido m-ColiBlue24 Broth y se incuba durante 24 h a 35±0.5 °C. Un indicador enzimático en el medio hace que las colonias de coliformes totales cultivadas en el medio m-ColiBlue24 se tiñan de color rojo, mientras que las colonias *E. coli* son de color azul (Figura 13). La selectividad de los indicadores enzimáticos elimina la necesidad de confirmación. Además, este método es comparable con el del Número Más Probable (HACH, 1999).

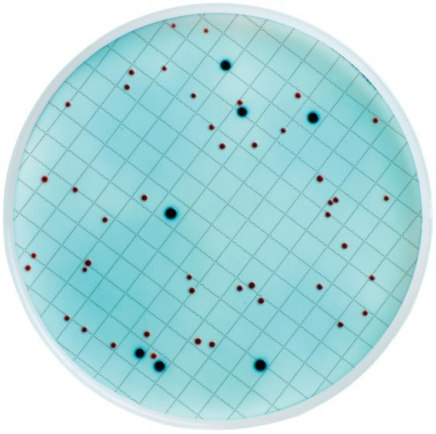

Figura 13. Detección de colonias de bacterias coliformes totales (color rojo) y *E. coli* (color azul).

La determinación de grasas y aceites se realizó mediante el método de extracción con equipo soxhlet que se basa en la adsorción de grasas y aceites en tierra de diatomeas, los cuales son extraídos empleando hexano como disolvente (Figura 14). Una vez terminada la extracción se evapora el hexano y se pesa el residuo que ha quedado en el recipiente; siendo este valor el contenido de grasas y aceites en la muestra de agua analizada (NMX-AA-005-SCFI-2000).

Figura 14. Extracción de grasas y aceites mediante equipo soxhlet.

Se analizó el fósforo en forma de ortofosfatos conforme al Método HACH 8048 con un intervalo de detección de 0 a 2.50 mg/L de PO_4^{3-}. Este método se basa en la reacción en medio ácido del anión fosfato con iones molibdeno y antimonio para formar un complejo de fosfomolibdato el cual es reducido utilizando ácido ascórbico generando una coloración azul debida al molibdeno, característica que puede ser detectada mediante colorimetría. La absorbancia a 882 nm se relaciona directamente con la concentración de ortofosfato.

Los compuestos nitrogenados se analizaron a partir de los siguientes métodos HACH, como se describe a continuación:

Para el análisis del nitrógeno total, se siguió el Método HACH 10071 con intervalo de detección de 0 a 25 mg/L de N. Este método contempló una digestión con persulfato de potasio en un vial cerrado, que oxida todas las formas de nitrógeno a nitrato en condiciones alcalinas. Después de la digestión se añade metabisulfito de sodio para eliminar las interferencias de óxidos de halógeno. El nitrato reacciona entonces con ácido cromotrópico, bajo condiciones fuertemente ácidas, para formar un complejo de color amarillo que puede ser medido colorimetricamente en la longitud de onda de 420 nm.

Se determinó el nitrógeno amoniacal por el método del salicilato (Método HACH 8155), con un intervalo de detección de 0 a 0.50 mg/L de NH_3-N. En este método, los compuestos de amonio se combinan con el cloro para formar monocloramina. La monocloramina reacciona con salicilato para formar 5-aminosalicilato. El 5-aminosalicilato se oxida en presencia de un catalizador nitroprusiato de sodio para formar un compuesto de coloración azul. El color azul está enmascarado por el color amarillo debido al exceso de reactivo presente para dar una última solución de color verde que es medida colorimétricamente (Figura 8).

Los nitritos se determinaron por el método de diazonización (HACH 8507) con intervalo de detección de 0 a 0.350 mg/L de NO_2-N. El nitrito en la muestra reacciona con ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio intermedia. Esta sal se empareja con el ácido cromotrópico para producir un complejo de color rosa

directamente proporcional a la cantidad presente de nitrito (Figura 15). Se mide la absorbancia a una longitud de onda 543 nm.

Figura 15. Determinación de nitritos (izquierda) y amonio (derecha) con el colorímetro Hach.

Se útilizó el Método HACH 8039 (Método de redución con cadmio) para detectar nitratos en agua con intervalo de detección de 0 a 30 mg/L de NO_3-N. Este análisis tiene como principio que en presencia de cadmio metálico se reducen los nitratos presentes en la muestra a nitrito. El ion nitrito que se ha formado, reacciona en un medio ácido con ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio intermedio que se acopla a ácido gentísico para formar un producto de color ámbar susceptible a ser medido colorimétricamente.

La presencia de sulfatos en la muestra colectada, se determinó por el Método HACH 8051 (SulfaVer 4) con un intervalo de detección de 0 a 70 mg/L SO_4^{2-}. El principio de este método se basa en que los iones sulfato en la muestra reacciona con bario del reactivo de sulfato SulfaVer 4 para formar sulfato de bario insoluble. La cantidad de turbidez formado es proporcional a la concentración de sulfato. El SulfaVer 4 también contiene un agente estabilizante para mantener el precipitado en suspensión.

Se analizó la concentración de los sulfuros en la muestra agua por el método del azul de metileno, Método HACH 8131 (intervalo de detección 0 a 0.70 mg/L S_2^-), en donde el sulfuro de hidrógeno y sulfuros metálicos solubles en ácido reaccionan con N, N-dimetil-p-fenilendiamina oxalato para formar azul de metileno. La intensidad del color azul es proporcional a la concentración de sulfuro.

Se analizó la alcalinidad total por el Método HACH 8203 usando el indicador verde de bromocresol-rojo de metilo (intervalo de detección de 10 a 4000 mg/L como $CaCO_3$). Se hace una valoración con ácido sulfúrico y el indicador verde de bromocresol-rojo de metilo a un pH entre 3.7 y 5.1, evidenciado por el cambio de color del indicador, de verde esmeralda a azul intenso, indicando la presencia de carbonato, bicarbonato e hidróxido en la muestra (Figura 16) (HACH, 2006).

La dureza total se determinó por el Método HACH 8203, usando el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), con un intervalo de detección de 10 a 4000 mg/L como $CaCO_3$. La muestra se trata con una solución amortiguadora hasta alcanzar un pH de 10.1, se añade el indicador negro de eriocromo T que interactua con una porción del calcio y magnesio presente en la muestra, formando un complejo de color rojo.

Posteriormente, al valorar la muestra con EDTA 0.01 M, el complejo del EDTA con el calcio y el magnesio es más fuerte que el que estos iones forman con el negro de eriocromo T, de manera que la competencia por los iones se desplaza hacia la formación de los complejos con EDTA desapareciendo el color rojo de la disolución y tornándose azul (Figura 16) (HACH, 2006).

Figura 16. Determinación de la alcalinidad (izquierda) y dureza total (derecha).

Previo al análisis de los datos y como regla de decisión estadística, se ejecutó la prueba de Kolmogórov-Smirnov con el fin de verificar la normalidad de los datos. Debido a que el valor-P más pequeño de la prueba realizada es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que los datos provienen de una distribución normal con un 95% de confianza.

La determinación de las diferencias significativas entre las estaciones y las medias anuales se realizó mediante la prueba no paramétrica de Comparación de Varias Muestras. También, se llevó a cabo la Prueba de Rangos Múltiples para conocer cuáles medias son significativamente diferentes de otras (por el método de diferencia honestamente significativa HSD de Tukey) y la diferencia entre meses o sitios con la Prueba Kruskal-Wallis (KW), usando el programa Statgraphiscs XV.II.

La asociación estadística entre variables se realizó mediante la prueba de correlación de rangos de Spearman (r_s). En contraste con las correlaciones de Pearson más comunes, los coeficientes de Spearman se calculan a partir del orden de los datos, más que de sus valores mismos. En consecuencia, son menos sensibles a valores aberrantes que los coeficientes de Pearson. Con el fin de estudiar la existencia de variación temporal, espacial y la asociación de los parámetros determinados en la Laguna de Coyuca, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y otro de conglomerados (Peña, 2002).

VII.5. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

El cálculo del índice de calidad del agua se basó en el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, 2006), diseñado para ser modelado con las siguientes variables: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO5, cambio de temperatura, fósforo, nitratos, turbidez y sólidos totales (González, 2006 y Samboni, *et al.*, 2007). Con el enfoque de la suma ponderada; en este método se asignan pesos de importancia a cada parámetro (Factor de ponderación-*Wi*). A partir de la ponderación para cada variable, se procedió a calcular

su correspondiente subíndice (Q-valor), para lograr esto, se tuvo a la mano el valor numérico de la variable en estudio y se ubicó dentro de las curvas de calidad, definiendo de este modo el porcentaje que le corresponde dentro de la escala de calidad (González, 2006; Samboni, *et al.*, 2007; Montoya, 1997). Los puntajes obtenidos para cada parámetro (Q-valor) es multiplicado por un peso (Factor de ponderación final) y los productos son sumados para obtener el índice que es un valor aritmético de la calidad del agua. Si por alguna razón, alguna de estas variables llegara a faltar, el valor total del índice puede ser calculado por la distribución de sus pesos entre las demás variables, haciendo uso del Prorrateo por Cociente (González, 2006).

Finalmente, el valor obtenido mediante la fórmula de agregación de variables (Ecuación 1) fue interpretado mediante una escala general de calidad de 0 a 100, cuyos intervalos de calidad del agua y su interpretación se especifican en los Cuadros 4 y 5 (González, 2006; Samboni, *et al.*, 2007; Montoya, 1997).

Ecuación 1. Fórmula de agregación para el cálculo del Índice de Calidad del Agua a partir de Subíndices por el Método de Promedio Aritmético Ponderado.

$$ICA = \sum_{i=1}^{n} q_i w_i$$

Cuadro 4. Escala de clasificación del ICA-NSF.

Rango	Escala de color	% de calidad
Excelente	AZUL	91-100
Buena	VERDE	71-90
Media o regular	AMARILLO	51-70
Mala	NARANJA	26-50
Pésima o muy contaminada	ROJO	0-25

Cuadro 5. Escala de clasificación del ICA-General según su posible uso.

Valor de ICA General	Uso como Agua Potable	Uso en agricultura	Uso en Pesca y Vida Acuática	Uso Industrial	Uso Recreativo
100	Excelente calidad, no requiere purificación	No Requiere purificaron para riego	Adecuada para el desarrollo de todas las especies	No se requiere purificación	Cualquier tipo de deporte acuático
90	Purificación menor requerida	Purificación menor para cultivos que requieren alta calidad de agua	Límite para peces muy sensitivos	Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación	Cualquier tipo de deporte acuático
70	Dudoso su consumo sin purificación	Utilizable en la mayoría de los de los cultivos	Dudosa la pesca sin riesgos de salud	No requiere tratamiento para la mayoría de industrias de operación normal	Precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias
50	Tratamiento potabilizador necesario	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Vida acuática limitada a especies muy resistentes	Tratamiento para mayoría de usos	Dudosa para contacto con el agua
25	Dudosa para consumo	Inaceptable para riego	Inaceptable para actividad pesquera y vida Acuática	Uso restringido	Contaminación visible, evitar cercanía

VII.6. GEOVISUALIZACIÓN

En esta fase se integró el modelo tridimensional del terreno, la batimetría y las bases de datos digitales de calidad del agua de la Laguna de Coyuca de Benítez en un video con ayuda de los programas ArcGis y ArcScene versión 10.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este trabajo presenta la información generada sobre los paisajes aledaños a la Laguna de Coyuca, sus características batimétricas y de calidad del agua. Esta última se describe mediante parámetros físicos, químicos y biológicos, además de su unificación en el índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, 2006; Samboni, *et al.*, 2007). Se describen estos resultados comparándolos con otros cuerpos acuáticos y en relación a su ubicación dentro de la Laguna y a través del tiempo.

VIII.1. MODELO DE PAISAJES ASOCIADOS

Con base en el relieve observado en el Modelo Digital de Elevación (MED) y el mapa de unidades de paisaje propuesto en el Ordenamiento Ecológico del Municipio de Coyuca de Benítez (POET, 2009), se definieron tres grandes clases: Sierra, Lomeríos y Planicie costera. Por su condición terrestre, acuática y estado de conservación, se subdividieron en seis subclases, así como en 26 unidades de paisaje, a partir del uso de suelo y vegetación, clima y tipo de suelo (ver Figuras 17, 18 y 19; Cuadro 6; Anexos 8, 9, 10 y 11).

Cuadro 6. Clasificación de los paisajes de la subcuenca Bahía de Acapulco

CLASE (RELIEVE)	SUBCLASE (CONDICIÓN)	UNIDAD (USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN)	CLAVE DE UNIDAD
I. Sierra	I.1 Área Degradada	I.1.a Bosque de pino-encino	SD-B1
II. Lomerío	II.1 Área Conservada	II.1.a Selva baja caducifolia y subcaducifolia	LC-S1
	II.2 Área Degradada	II.2.a Cultivos anuales	LD-Cu1
III. Planicie costera	III.1 Área de Aprovechamiento	III.1.a Agricultura-ganadería	PcA-Ag1
		III.1.b Zona Urbana	PcA-Ur1
	III.2 Cuerpo de agua	III.2.a Laguna	PcCa-L1
		III.2.b Islas	PcCa-Is1
	III.3 Zona inundable	III.3.a Manglar	PcZi-M1
		III.3.b Marismas	PcZi-Mr1
		III.3.c Salinas	PcZi-S1

A continuación se describen las diferentes clases, subclases y unidades de paisajes.

I. Clase: Sierra

Comprende la parte alta del Municipio, arriba de la cota 1,000 msnm (Figura 17). Predomina el bosque de pino-encino y a pesar de la riqueza medioambiental de la zona, los recursos naturales no son adecuadamente aprovechados, no existe infraestructura para la captación de agua de lluvia ni programas de manejo forestal formales. Existen pocos asentamientos humanos, dispersos y con escasa población, levemente comunicados con el resto de las localidades del municipio. El sistema de enlace de la zona se establece a través de terracerías y brechas, lo que dificulta la accesibilidad (POET, 2009). El clima predominante es semicálido

subhúmedo del grupo C, con temperatura media anual mayor de 18 °C, la temperatura del mes más frío es menor de 18 °C y la temperatura del mes más caliente mayor de 22 °C (García-CONABIO, 1998). El tipo de suelo es cambisol dístrico con subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes o bases (Ca, Mg, K, Na) (INEGI, 2001; POET, 2009).

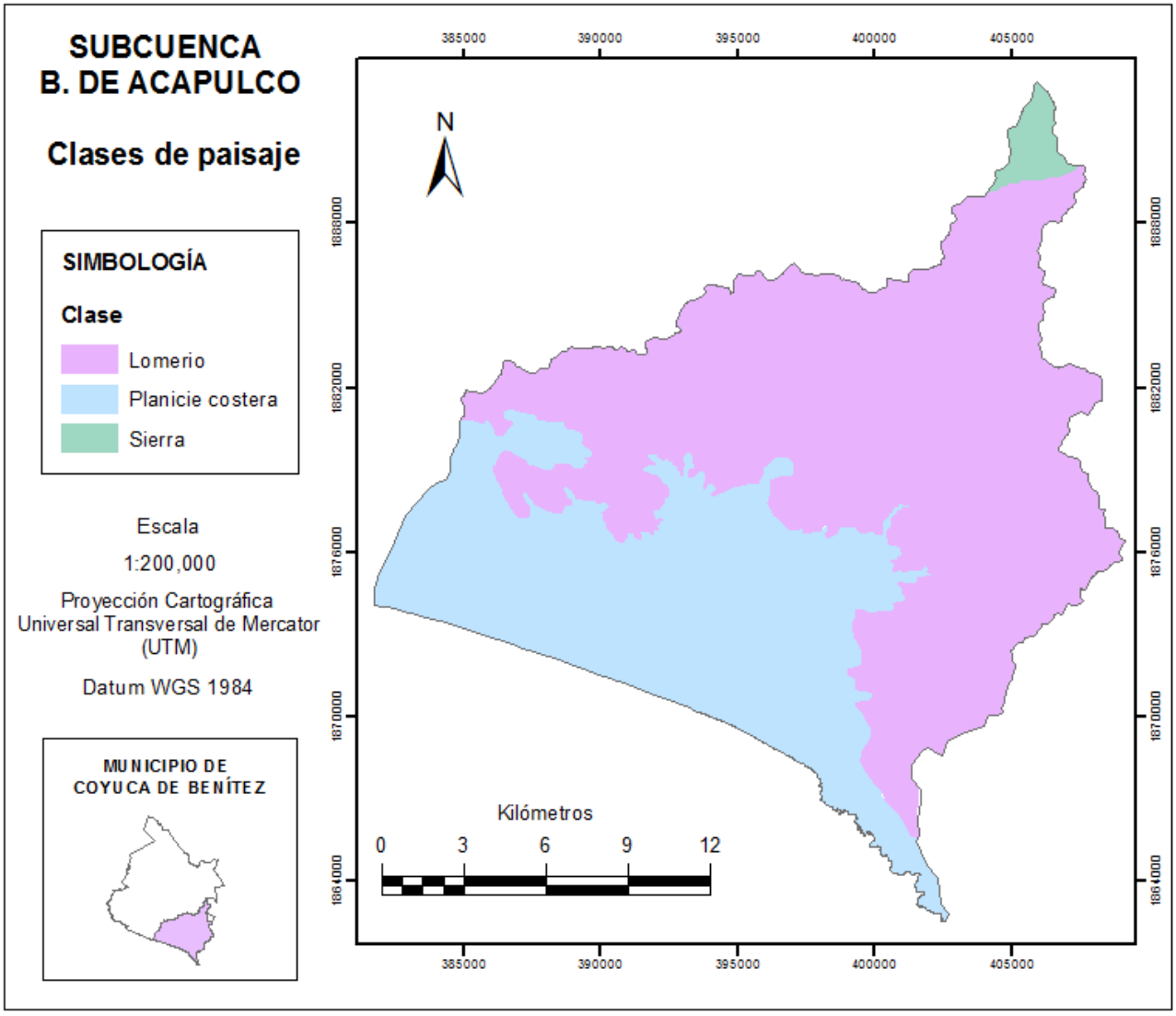

Figura 17. Mapa clases de paisaje delimitadas por la subcuenca de Acapulco.

I.1 Subclase: Sierra Degradada

Esta subclase de la Sierra presenta una mayor alteración ecológica (Figura 18). El cambio en el uso del suelo destaca en torno a los asentamientos humanos, eliminando la vegetación natural de bosque de pino-encino para dar paso a pastizales inducidos y cultivados, así como a áreas de agricultura del temporal con cultivos anuales. Presenta alto riesgo de incendios forestales pues su control es muy difícil y se han reportado también acciones de tala clandestina. Esta condición la convierte en una de las zonas más vulnerables a riesgos de erosión debido a la pérdida de grandes extensiones de bosques que repercutirá en la calidad del agua de la Laguna de Coyuca por el aporte potencial de sedimentos y residuos agropecuarios (POET, 2009; SARH, 1992).

I.1.a Unidad: Bosque de pino-encino

Esta comunidad forestal, se distribuye en las partes altas del sistema montañoso que se encuentra ubicado al norte de la Subcuenca B. de Acapulco. Representa la zona de transición entre el bosque de pino y la selva baja (Figura 19; Anexo 8). Esta vegetación se considera siempre verde y está constituida por diferentes especies de pino (*Pinus spp.*) y encino (*Quercus spp.*); siendo dominantes los pinos. La fisonomía de este bosque es característica y las diferentes especies de pino que lo definen presentan alturas que van de los 15 a los 30 m en promedio, siendo constituido por árboles de los géneros *Pinus maximinoi, Pinus ocarpa, Pinus ayacahuite, Pinus moctezumae, Pinus pseudostrobus, Pinus herrarai, Pinus Teocote, Pinus pringlei, Pinus lawsoni* y *Pinus michoacana*, entre otras especies. Esta unidad destaca por su importancia económica en la industria forestal soportando actividades como aserrío, resinación, obtención de pulpa para celulosa, postería y recolección de frutos y semillas (INEGI, 2009a; POET, 2009). También, constituye el hábitat para un gran número de especies vegetales y animales, muchas de las cuales se encuentran amenazadas debido principalmente al cambio en el uso del suelo (Almazán, *et al.*, 2009).

II. Clase: Lomerío

Esta clase de paisaje se localiza entre las cotas de 300 a 1,000 msnm, de manera contigua a la zona de la Sierra ubicada en la transición entre el bosque y la selva (POET, 2009). Presenta un clima cálido subhúmedo (tipo Aw) con una temperatura media anual mayor de 22 °C y temperatura del mes más frio mayor de 18 °C. La precipitación del mes más seco es menor a 600 mm (García-CONABIO, 1998; INEGI, 2009b). En esta clase los suelos son de tipo regosol éutrico, feozem háplico, cambisol dístrico, éutrico y crómico. En general, la vocación de éstos suelos es forestal, pecuario y agrícola (INEGI, 2001 y 2009b; POET, 2009). Esta clase se dividió en 2 subclases de acuerdo a su estado de conservación (Figura 18).

II.1 Subclase: Lomerío Conservado

Se distribuye en la parte centro-oriental de la subcuenca y es la de mayor cobertura, predomina la selva baja caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, sin erosión aparente, además de pequeñas áreas de pastizal cultivado (Figura 18). La accesibilidad es aceptable y están bien integradas con el sistema de enlace municipal, a pesar de ser a través de terracerías (POET, 2009; SARH, 1992). En sus unidades se puede encontrar los suelos de tipo regosol éutrico, feozem háplico y una pequeña fracción de cambisol éutrico (Anexo 8). Son suelos con buena productividad. Sin embargo, cuando no son bien manejados son susceptibles a la erosión hídrica pudiendo ser de moderada a alta. La aptitud de estos suelos es fundamentalmente ganadera, forestal y agrícola, con un manejo apropiado para que no pierdan su fertilidad (INEGI, 2001 y 2009b; INIFAP-CONABIO,1995). En la zona, las principales causas que amenazan la degradación de estos suelos son la deforestación, los incendios forestales, el sobre pastoreo y en general los cambios de uso del suelo (POET, 2009).

II.1.a Unidad: Selva baja caducifolia y subcaducifolia

La selva corresponde al 28.79% del municipio de Coyuca y se encuentra en la zona centro y sur (POET, 2009). La distribución de esta selva es del nivel del mar hasta unos 1,700 msnm, rara vez se le enuentra hasta 1,900 msnm (INEGI, 2009a). En la Subcuenca B. de Acapulco, se desarrolla en condiciones donde predominan los climas tipos cálidos subhúmedos (Aw2) y semicalidos subhúmedos ((A)C(w2)), siendo más común el de tipo Aw2. El promedio de temperaturas anuales es superior a 20 °C. Las precipitaciones anuales son de 1,200 mm como máximo, teniendo como mínimo 600 mm aproximadamente, con una temporada seca

bien marcada, que puede durar hasta 7 u 8 meses y que es muy severa. Su distribución dentro del municipio y la subcuenca corresponde a los lomeríos bajos, sobre suelos con buen drenaje. La altura de las especies arbóreas que conforman este tipo de vegetación es de 4 a 10 m y eventualmente de hasta 15 m o un poco más. La selva baja subcaducifolia presenta formaciones vegetales donde el 50 y el 75% de sus componentes pierden las hojas en la época más seca del año, su proporción dentro de la subcuenca es menor comparada con las especies caducifolias. La selva baja caducifolia, se caracteriza porque más del 75% de las especies que la integran pierden sus hojas en la época seca del año. Entre las especies importantes que conforman este tipo de vegetación, destacan: *Bursera simaruba* (palo mulato), *Bursera spp.* (cuajiote, papelillo, copal, chupandia); *Lysiloma spp.* (tepeguaje), *Jacaratia mexicana* (bonete) y *Ceiba spp.* (pochote). El estrato herbáceo es muy reducido y sólo se puede apreciar después de que ha empezado claramente la época de lluvias y retoñan o germinan las especies herbáceas. Las formas de vida suculentas son frecuentes, especialmente en los géneros *Agave, Opuntia, Stenocereus* y *Cephalocereus*. Se considera que este ecosistema se encuentra seriamente amenazado, con una tasa de destrucción de alrededor del 2% anual (INEGI, 2009a; POET, 2009).

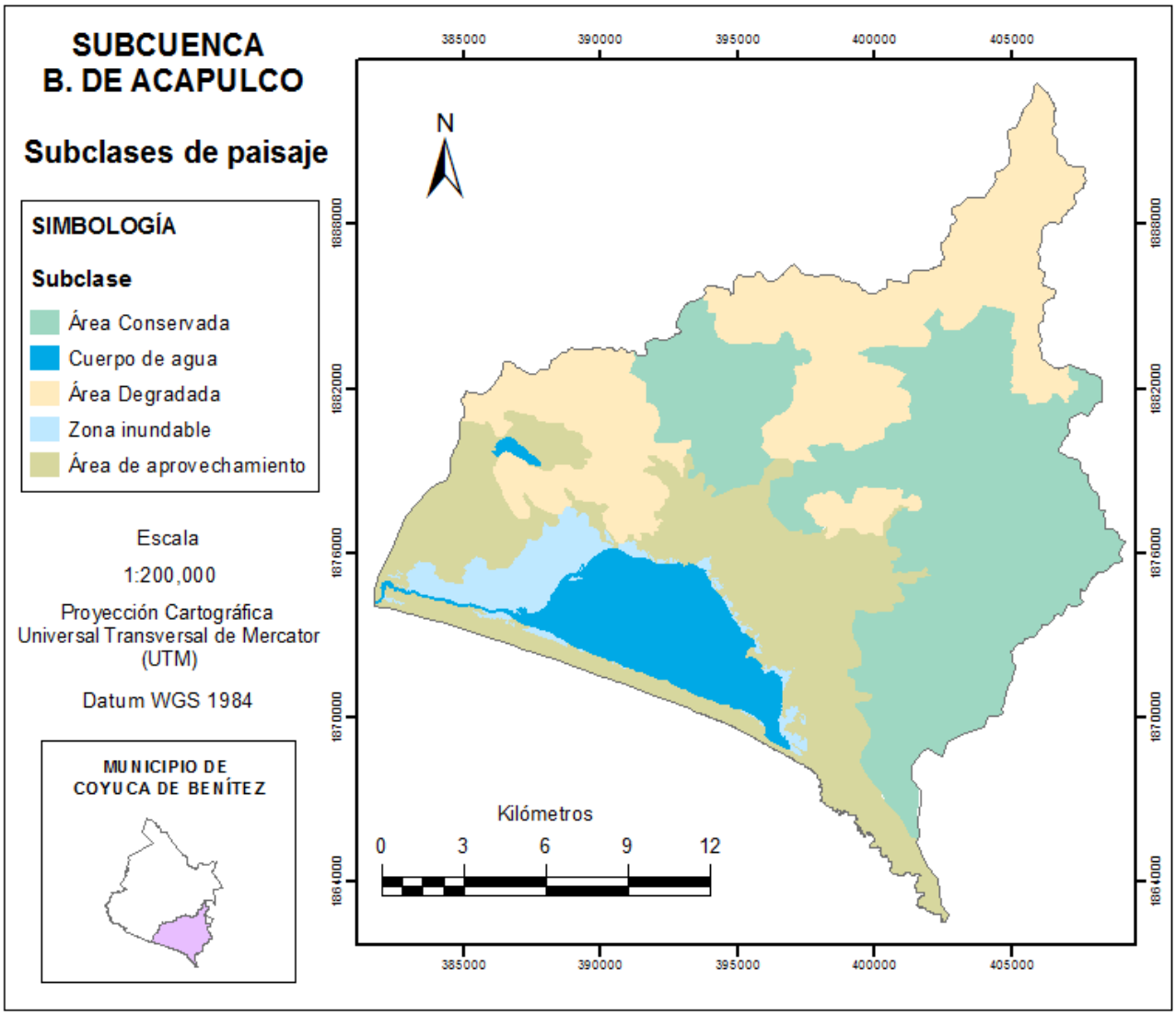

Figura 18. Mapa de subclases de paisaje delimitadas por la subcuenca de Acapulco.

II.2 Subclase: Lomerío Degradado

En esta subclase la vegetación de selva baja caducifolia y subcaducifolia se ha fragmentado y el bosque de encino y selva mediana caducifolia se presenta sólo en pequeños parches (Figura 18). Abundan los suelos tipo cambisol crómico, éutrico y dístrico, que por lo común, son de escaso desarrollo, no tienen limitantes severas para el manejo agrícola o urbano, sin embargo, su erosividad se cataloga de moderada a alta, además de la disminución de la escorrentía y el azolvamiento de las tierras bajas. Los principales procesos erosivos de esta zona son hídricos manifestados por la pérdida de la capa superficial favorecida por la deforestación y los cambios de uso del suelo (INEGI, 2001 y 2009b; INIFAP-CONABIO,1995). El acceso de terracerías aunque es susceptible de mejorarse, es adecuado, con buena comunicación tanto hacia la carretera federal 200 en su tramo de Acapulco a Chilpancingo, como con el sistema de enlace municipal (POET, 2009).

II.2.a Unidad: Cultivos anuales

La vegetación original se encuentra muy alterada. El uso dominante es el pastizal cultivado y en segundo término la agricultura de temporal con cultivos anuales, principalmente cultivos de maíz y frijol, aunque también suele encontrarse pequeños cultivos de melón, sandía, jícama y café (POET, 2009; SARH, 1992). La agricultura de cultivos anuales se realiza sobre todo en terrenos de lomerío con pendientes que alcanzan hasta un 25%, en altitudes que van de los 300 a los 600 msnm y suelos poco profundos y poco desarrollados, lo cual condiciona su uso especialmente donde las pendientes del terreno son pronunciadas y dado que son susceptibles a la erosión hídrica, pueden perderse rápidamente. La capacidad agrológica y agrícola en los terrenos planos o de escasa pendiente tienen rendimientos de moderados a bajos y, en las elevaciones la aptitud es forestal (INIFAP-CONABIO,1995; INEGI, 2001; POET, 2009).

III. Clase: Planicie costera

Esta clase se ubica en la porción sur de la subcuenca de Acapulco, entre la cota 100 y la 200 m en la que se concentran los terrenos de riego y la mayor cantidad de asentamientos humanos (POET, 2009). El clima dominante es cálido subhúmedo, la temperatura media anual es mayor de 22 °C y la temperatura del mes más frio es mayor de 18 °C. La precipitación del mes más seco varía entre 0 y 60 mm (García-CONABIO, 1998). Predomina el suelo tipo feozem háplico, caracterizados por presentar una capa superficial obscura, rica en materia orgánica y nutrientes o bases (Ca, Mg, K, Na) (INEGI, 2001 y 2009b; INIFAP-CONABIO,1995). Por la importancia de esta zona y la sensibilidad emanada de las presiones a las que está sometida requiere de un análisis y una normatividad de mayor detalle que las regiones centro y norte del municipio, a fin de considerar las condiciones de fragilidad ambiental a las que está sujeta (Figura 17). A partir de las diferentes capas de información y la interpretación de imágenes de satélite, se dividió en tres subclases y 16 unidades de paisaje (Anexo 8).

III.1 Subclase: Aprovechamiento

En esta zona se concentra más de la mitad de la población total del municipio; esto se debe, entre otras cosas, a que la topografía es menos pronunciada, al cruce de la carretera federal 200, a la presencia de suelos más productivos y de los recursos hídricos más importantes del municipio (Figura 18; Anexo 11). Prevalece la selva baja caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, sin embargo, se tiene cierta tendencia a la eliminación de la cubierta vegetal natural para establecer terrenos de

cultivo o para el pastoreo de ganado, mediante la introducción de pastizales cultivados e inducidos (POET, 2009). Se divide en dos unidades.

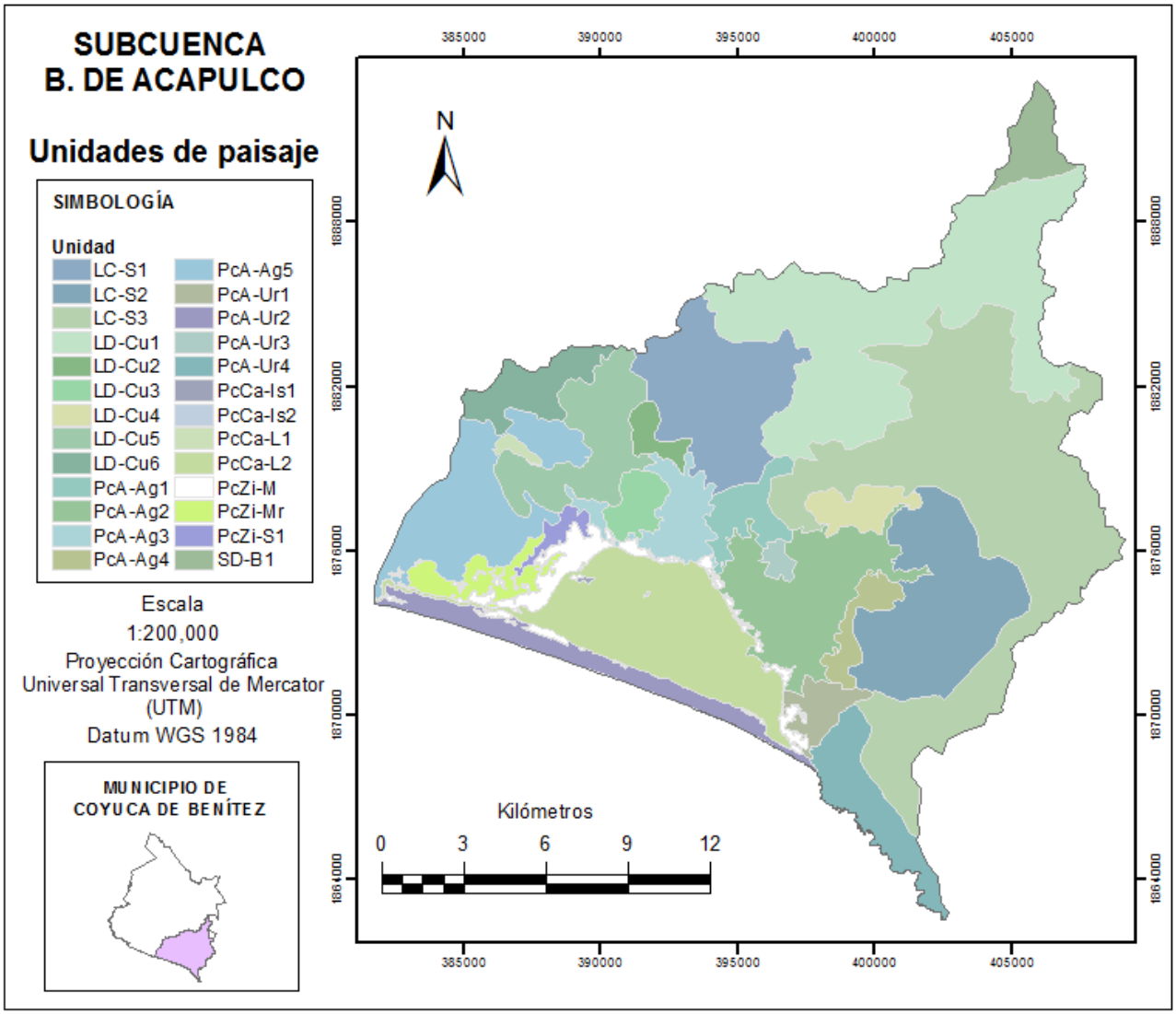

Figura 19. Mapa unidades de paisaje delimitadas por la subcuenca Bahía de Acapulco.

III.1.a Unidad: Agricultura-ganadería

En esta unidad predomina la agricultura de temporal con cultivos permanentes y semipermanentes y la selva baja caducifolia y subcaducifolia en diferentes grados de alteración. Los cultivos permanentes que predominan en términos de superficie, son los frutales como: coco (que fue por mucho tiempo la base de la actividad productiva de la región), mango, plátano, papaya y limón. Los cultivos semipermanentes corresponden a las legumbres y hortalizas. En menor medida se observa agricultura de temporal con cultivos anuales donde destaca el maíz y frijol, con menor proporción cultivos de melón, sandía, jícama y café. Asimismo, en este paisaje se desarrollan actividades de explotación ganadera con predominio de ganado bovino, con especies de cebú, criollo y holandés; así como caprinos, porcinos, equinos, aves de corral y colmenas. Prácticamente no existe por el momento ningún aprovechamiento forestal autorizado por las autoridades correspondientes. En esta zona se concentran algunos escurrimientos de la subcuenca Bahía de Acapulco que desembocan en la Laguna de Coyuca. La comunicación es buena, tanto al interior del municipio

como a nivel regional (POET, 2009; SARH, 1992). En esta unidad también se presentan los mejores suelos para la agricultura de riego, destacando los de tipo feozem háplico y regosol éutrico, a pesar de que estos suelos tienen condiciones salinas y sódicas muy fuertes; por su condición de ser prácticamente planos, no tienen problemas de erosión si se les da un manejo adecuado. En esta unidad, también se encuentra un pequeño segmento de cambisol crómico en la parte oriental (INEGI, 2001; INIFAP-CONABIO,1995). La demanda del sistema productivo en la zona sigue aumentando ocasionando la perdida de los remanentes de vegetación natural. Esta situación indica que los cambios de uso del suelo están presentes en el municipio, debido entre otros factores a la falta de oportunidades en otros sectores económicos, como el secundario. Lo anterior implica por una parte, eliminar opciones de aprovechamiento económico y sustentable de los recursos naturales y además, que los procesos erosivos al disminuir la capa arable del suelo, reducen la captación del agua de lluvia y consecuentemente las posibilidades de mantener un uso agrícola o pecuario de largo plazo, afectando finalmente las posibilidades de desarrollo, que históricamente ha caracterizado a esta unidad por tener una base económica y ocupacional en el sector agropecuario.

III.1.b Unidad: Zona urbana

En esta unidad de paisaje se localizan las localidades que el ordenamiento ecológico del municipio identifica como subsistema Bajos del Ejido y corredor carretero oriente (Figura 8 y 19). También se incluye en esta unidad a la zona urbana de la franja costera de Coyuca y parte de la de Acapulco, con suelo tipo arenosol. Los índices de crecimiento más altos del municipio corresponden a las localidades ubicadas en esta parte del territorio, pues están íntimamente relacionadas con la presión de crecimiento de la zona urbana de Acapulco. El área tiene una accesibilidad excelente, pues aquí se unen la carretera federal 200 con la carretera nacional Acapulco-Zihuatanejo. En el área de este entronque se concentran las localidades que más han crecido en los últimos quinquenios (POET, 2009). Las múltiples actividades que se desarrollan en esta unidad generan grandes cantidades de aguas residuales de las cuales solo un porcentaje es canalizado a los sistemas de tratamiento mientras que otras, son descargadas a los ríos y arroyos que desembocan en la Laguna de Coyuca. Según el POET (2009), la falta de mantenimiento de las lagunas de oxidación e infraestructura suficiente para el tratamiento de aguas residuales en estas localidades, puede a mediano plazo, volver críticos los niveles de contaminación del agua en la Laguna. De igual forma, la sucesión a lo largo de la carretera federal 200, deja prever que a largo plazo pudieran darse procesos de conurbación por falta de regulación del crecimiento de estas poblaciones, ocasionando el crecimiento de la ciudad sobre terrenos productivos y en zonas de pendientes pronunciadas, con los consecuentes costos que implica la urbanización de estas áreas y la pérdida de terrenos destinados a uso agrícola (POET, 2009).

III.2 Subclase: Cuerpo de agua

Esta subclase de paisaje corresponde al área del cuerpo lagunar y la vegetación que se desarrolla en sus orillas. Se divide en dos unidades:

III.2.a Unidad: Laguna

La Laguna de Coyuca es un atractivo natural que alberga un gran número de actividades recreativas, turísticas y pesqueras, por lo que es una importante generadora de empleo para la población local y zonas aledañas. La explotación pesquera en la Laguna incluye una gran diversidad de especies como bagre, barrilete, carpa, cazón, curvina, charal, huachinango, jurel, lenguado, lisa, mojarra, pargo, robalo, sierra; moluscos como el caracol, ostión, almeja y; crustáceos como el camarón, la jaiba, la langosta y el langostino;

así como tortugas de agua dulce y marina que conforman la fauna local y son comercializadas con carácter ornamental. En la mayor parte de la orilla de la Laguna se han desarrollado pequeños grupos de hoteles, restaurantes y locales comerciales con el fin de favorecer la actividad económica de la zona (POET, 2009). En esta unidad, las principales fuentes de contaminación son las aguas residuales de tipo doméstico que descargan a la Laguna, así como residuos sólidos. Tanto el río Coyuca como otros pequeños afluentes reciben las descargas de diversas comunidades como la Cabecera Municipal, Las Lomas y El Bejuco (Figura 8 y 19; Anexo 11). Contribuyen a este problema las descargas de las granjas piscícolas ubicadas en la localidad El Baradero localizada al oeste del Canal de la Laguna, así como la infiltración de agua residual que generan las viviendas, restaurantes y otros comercios y servicios localizados a lo largo de la Barra de Coyuca. Según datos del INEGI casi la totalidad de las viviendas aledañas a la Laguna cuentan con drenaje, predominando el uso de fosas sépticas, cuyo diseño propicia filtraciones que puede producir graves problemas de contaminación (POET, 2009). También se ha detectado la eutrofización en varias zonas de la Laguna, particularmente la presencia de lirio acuático cuya densidad y extensión evidencia de manera clara la presencia de contaminantes. El uso de lanchas para la pesca deportiva y comercial también contribuye a la contaminación de la Laguna con detergentes, grasas y aceites (POET, 2009). De seguir la contaminación y el azolvamiento de la Laguna de Coyuca se irán perdiendo las posibilidades de promoverla como un sitio turístico además de su oferta para los pescadores.

III.2.b Unidad: Islas

Esta unidad hace referencia a dos islas situadas al interior de la Laguna de Coyuca, conocidas como Isla de los Pájaros e Isla Montosa. La Isla de los Pájaros, sirve de refugio de diversas especies de aves que migran desde Canadá, Estados Unidos y Alaska, por lo que actualmente es considerada como un área con posibilidades de ser protegida. Según el Programa de Ordenamiento Ecológico del Municipio, se tienen registradas 67 especies de aves, entre las que destacan las garzas negras, grises y blancas, así como pelícanos, patos, marabúes y gaviotas, entre otras especies. En la Isla Montosa se ha promovido el desarrollo del turismo como actividad productiva, enfatizando los servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos, así como la pesca comercial y deportiva (POET, 2009; Carrillo, *et al.*, 1996). Esta isla también presenta una de porción de manglar en buen estado de conservación (Figura 20).

III.3 Subclase: Zona inundada

Esta unidad de paisaje presenta como vegetación domínate al manglar y el popal-tular (Figura 19 y 20). Estas últimas, generalmente enraizadas en el fondo, de hojas largas que sobresalen del agua formando extensas masas. Entre las especies representativas se encuentran *Leersia* spp., *Panicum* spp., *Phragmites australis* y *Arundo donax*; asi como géneros de *Typha*, *Scirpus* y *Cyperus*. Se pueden encontrar algunas leñosas y gramíneas como el espino blanco (*Acacia sp.*), mezquite (*Prosopis juliflora*), zacate salado (*Distichlis spicata*) y zacate (*Sporobolus sp.*). Además, existe lirio acuático que es un indicador biológico de contaminación por descargas de aguas residuales sin tratamiento o con un tratamiento deficiente. Esta vegetación no ha sido objeto de mayor aprovechamiento para la ganadería, ni para la producción de artesanías u otros propósitos, a excepción de los petates o cestos de tular o varas del carrizo para la confección de cohetes. En esta zona se ubica el cuerpo de agua denominado Laguna del Zarzal (POET, 2009). Su principal problemática es que el crecimiento de las áreas agrícolas en la zona ha cambiado de forma inmediata el paisaje costero de la zona, aunado al incremento de la actividad turística, ejerciendo presión sobre los ecosistemas frágiles que se localizan en las márgenes de la Laguna y los corredores de playa (Anexo 8-11).

Figura 20. Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*).

III.3.a Unidad: Manglar

Esta unidad corresponde a la vegetación de mayor valor ecológico, se localiza en algunas zonas de contacto entre la Laguna y la tierra firme (Figura 19 y 20). Es una comunidad densa, dominada principalmente por especies arbóreas cuya altura es de 3 a 5 m, pudiendo alcanzar hasta los 30 m. Una de sus características principales es que algunas especies presenta raíces en forma de zancos, cuya adaptación le permite estar en contacto directo con el agua salobre, sin ser necesariamente especies halófitas. La composición florística que lo forma son el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). Su importancia radica en el hecho de que conforma un hábitat importante para aves, peces y muchas especies de invertebrados como los moluscos y crustáceos, destacando el camarón y el ostión, cuyo valor alimenticio y económico es alto. Su uso desde el punto de vista forestal, es la obtención de taninos para la curtiduría, el uso de la madera por su resistencia a la putrefacción para la elaboración aperos de labranza, embalses y de carbón. Además de cumplir una función importante al frenar las marejadas o disminuir la fuerza de los huracanes (POET, 2009).

Los mangles que se localizan en la Laguna de Coyuca han sido afectados por varios huracanes, especialmente “Pauline” en 1997 y por la extracción de madera. El POET del Municipio (2009), considera al manglar como una unidad de gestión territorial con los objetivos de preservación, recuperación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, bajo el concepto de Área Natural Protegida. Sin embargo, establece que su estado actual permanece sin cambio, condición contrastante debido a que es posible observar los cambios de cobertura y la disminución del grado de conectividad global del manglar a partir de las imágenes del visualizador Google Earth (Figura 21; Anexo 9 y 10). Estas imágenes evidencian que la fragmentación y el deterioro de los bosques de mangle se debe esencialmente al incremento en el número de parches, tamaño y disminución en la conectividad, principalmente en zonas de alto impacto causado por actividades antropogénicas (acuicultura, presencia de poblados e infraestructura vial) sobre la cobertura original. Este estudio contempla como una unidad de paisaje a los mangles delimitados por la

CONABIO (2008), haciendo hincapié en que algunos de los polígonos delineados ya no presentan la misma cobertura bajo la cual fueron trazados, por lo que se recomienda evaluar la estructura y las tendencias de cambio que permitan identificar elementos de hábitats críticos y prioritarios para el mantenimiento de la conectividad y elaborar cartografía del estado actual de la fragmentación.

Figura 21. Cambios de cobertura y la disminución de la conectividad del manglar a partir de las imágenes de satélite GeoEye-1 durante los años 2002 y 2011.

III.3.b Unidad: Marismas

Esta unidad se caracteriza por ser un ecosistema húmedo, salobre, estacional, de escaso relieve, con sedimentos no consolidados y con vegetación halófila asociada a la zona intermareal (Figura 19). Su dinámica depende de los afluentes, arroyos, agua de lluvia y de las mareas, dándole a esta zona un régimen estacional muy marcado, permaneciendo encharcada desde mediados del otoño hasta finales de primavera o comienzos del verano. La vegetación dominante son plantas herbáceas, gramíneas rizomatosas y pastizales halófitos, destacando especies como *Sporobolus virginicus* y algunos géneros de *Salicornias*, *Uniola* y *Spartinas*. Esta vegetación ha estado disminuyendo o desapareciendo para dar lugar a zonas agrícolas y potreros. El tipo de suelo es feozem háplico, con fuerte predominio de las condiciones salinas y sódicas, que limitan el uso productivo (POET, 2009).

III.3.c Unidad: Salinas

En esta unidad, se encuentran importantes depresiones del terreno (lucios), que son pequeñas lagunas interiores, que permanecen encharcadas por largos períodos (Figura 19). En ellos la salinidad elevada impide el crecimiento de la vegetación y cuando se secan, conservan una costra de sal blanquecina. El tipo de suelo dominante es gleysol éutrico, caracterizados por ser suelos pantanosos o inundados a menos de 50 cm de profundidad la mayor parte del año, con policromía prominente (INEGI, 2001 y 2009). En esta zona, también se encuentra ubicada la localidad de Aserradero de Salinas, a una altitud de 10 msnm, conformada por un total de 31 viviendas, con piso de tierra y en algunos casos consisten de una sola habitación; seis de todas las viviendas tienen instalaciones sanitarias, sin conección al servicio publico y 26 tienen acceso a la luz eléctrica.

El ser humano repercute severamente en el uso del espacio, creando problemas ambientales que en la actualidad tienen grandes repercusiones a escala regional y global (Santiago, 1997). El crecimiento poblacional, entre otros, ha llevado a la ocupación de espacios frágiles, conformándose núcleos urbanos cerca de los cauces naturales, con las modificaciones de los relieves y ocupación de áreas con suelos productivos. Además, la tala, quema y en especial la descarga indiscriminada de aguas servidas en los cauces de ríos y quebradas, trae como consecuencia graves problemas sanitarios en los cuerpos de agua inferiores como la Laguna de Coyuca.

VIII.2. MAPA BATIMÉTRICO

La Laguna de Coyuca cuenta con un área superficial calculada de 3,158.9 ha y un volumen aproximado de 199 hm^3, dependiente de las épocas de secas y de estío. La longitud máxima es de 9.25 km aproximadamente, una anchura aproximada de 4.20 km (Figura 22). Posee un fondo predominantemente fangoso y características topográficas y superficiales muy irregulares.

En total se tomaron 573 datos de profundidad en diferentes partes de la Laguna, con una profundidad promedio de 6.7 m, una desviación estándar de 5.8, mediana de 4.8 y una moda de 2.2. La profundidad mínima fue de 0.7 m y el máximo detectado de 29.3 m. El fondo lagunar se compone de una zona profunda y otra somera. La sección interna de la Laguna presentó las isobatas más pronunciadas con alineación preferencial concéntrica en el cuerpo principal de la Laguna, hacia el sur la profundidad disminuye gradualmente, mientras que hacia el noreste aumenta súbitamente hasta los 29.3 m y se reduce con la proximidad de la costa norte. Las pendientes más suaves se localizan cerca de la costa y a lo largo del canal de la Laguna (Figura 22). El volumen de agua de la Laguna fluctúa periódicamente en forma cíclica caracterizada por con un periodo de llenado y otro de drenaje.

De acuerdo al POET (2009) la Laguna se retroalimenta con los aportes hídricos de 19 escurrimientos superficiales de escaso trayecto, los cuales se activan en la época húmeda del año. La Laguna desemboca al Oeste por un canal de aguas salobres y abundante en peces, el cual está separado del mar por una barrera de arena de aproximadamente 500 m de ancho, conocida como Barra de Coyuca. Ésta, permanece cerrada en época de estiaje, en la época de lluvias se abre de manera natural, o con la intervención de los pobladores. El periodo de inundación debido a la época de lluvias se inicia regularmente en el mes de junio, alcanzando su máximo nivel en el mes de agosto y la apertura de la barra se realiza generalmente a principios del mes de septiembre del mismo año, sin embargo, cuando la columna de agua se mantiene en un nivel alto suele abrise dos o tres ocasiones para evitar la inundación de los poblados adyacentes a la costa. En el Canal de la Laguna, la profundidad alcanza entre 4 y 7 m frente a la desembocadura del río Coyuca, y varía de acuerdo con la época del año y el estado hidrológico de la laguna.

La Isla Montosa con un área aproximada de 15.3 ha, se localiza al oeste del cuerpo principal de la Laguna, y existe una zona poco profunda entre la costa noroeste de la isla y la tierra firme que no sobrepasa los 1.7 m de profundidad. La Isla de las Aves con un área aproximada de 2.3 ha se encuentra en la porción centro-norte y hacia el este la profundidad de la Laguna aumenta sucesivamente hasta más de 3 m. El histograma de los datos de profundidad muestra una distribución con asimetría izquierda donde predominan los valores inferiores a los -8 m (Figura 23; Anexo 1). La proporción desciende a medida que aumenta la profundidad (mayor a -15 m).

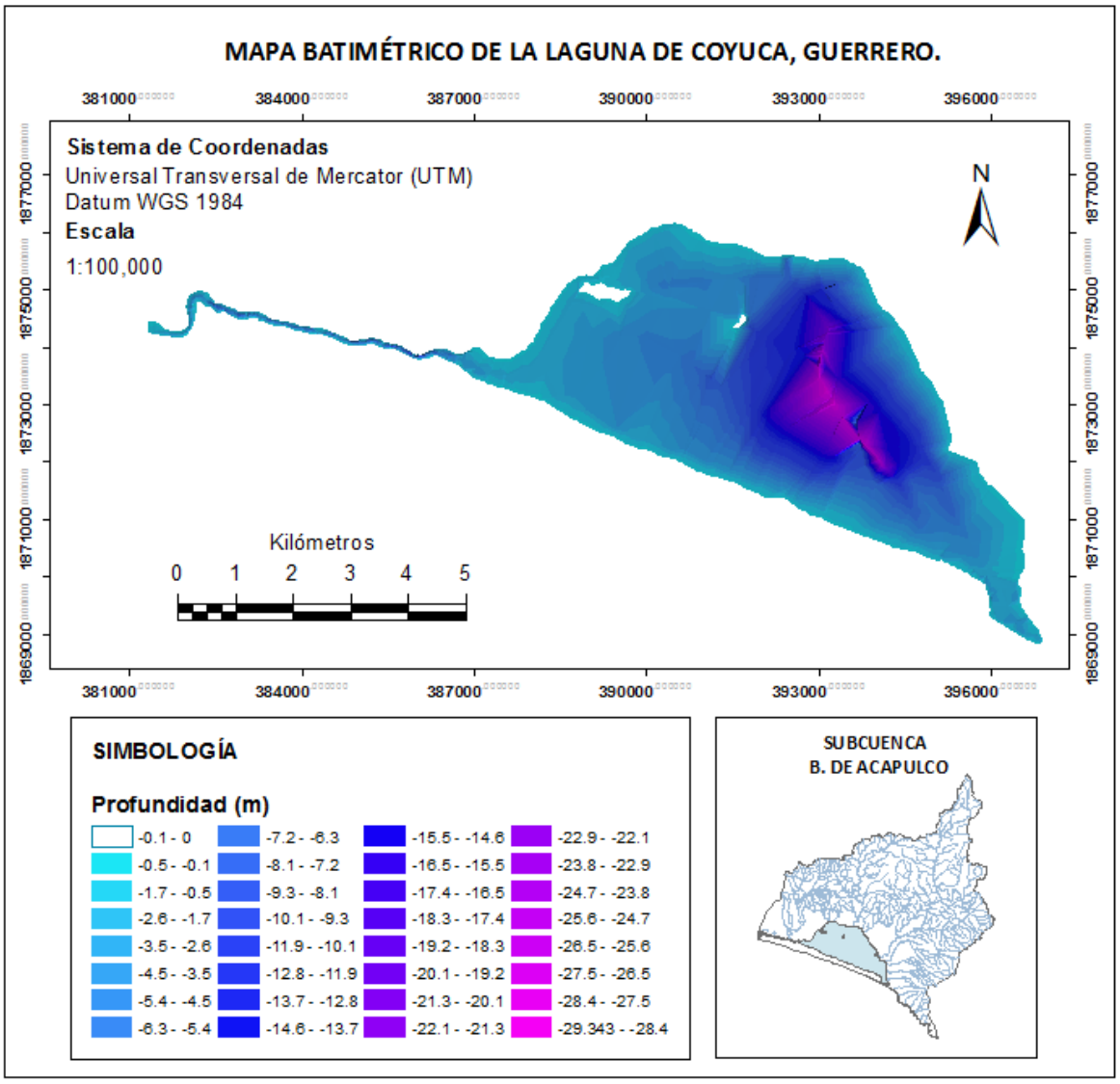

Figura 22. Batimetría de la Laguna de Coyuca

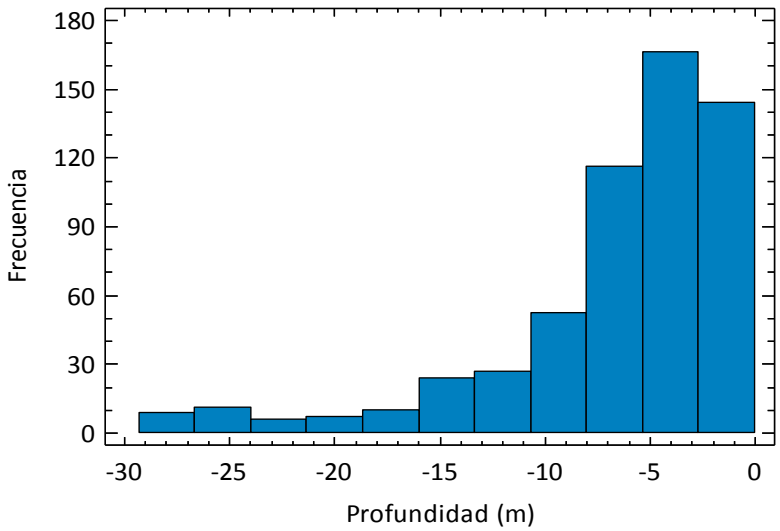

Figura 23. Hitograma de distribución de la profundidad de la Laguna.

La Laguna de Coyuca es un cuerpo de agua relativamente profundo comparada con la profundidad media de otras lagunas costeras en el estado de Guerrero como la Laguna de Salinas de Apozahualco (0.50 m), la Laguna de Chautengo (1.10 m), la Laguna Negra de Puerto Marqués (3 m), la Laguna de Mitla (2.90 m) y la Laguna de Tres Palos (3.43 m) (De la Lanza, *et al.*, 2008; Yáñez-Arancibia, 1977; Robles, *et al.*, 2000).

Los estudios batimétricos representan un apoyo para la navegación segura, así como de orientación, elección y establecimiento de técnicas más eficientes de construcción en la zona costera, como pedraplenes, puertos y marinas (Díaz-Aguirre, *et al.*, 1997). Además, influye directamente en la productividad, determinando el tipo de organismos presentes y la química del agua, por lo que su conocimiento contribuye a la elaboración de estrategias de manejo que se adopten para la Laguna. Los mapas batimétricos proveen la base para la administración científica de los recursos hídricos de acuerdo con los intereses de la sociedad ya que suministran información esencial para evaluar los recursos y determinar la cantidad, calidad y disponibilidad desde los puntos de vista geográfico y temporal (Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1963; Secretaría de Marina, 1974; Cooke, *et al.*, 1993).

VIII.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LA LAGUNA

La definición de los parámetros de calidad del agua en la Laguna de Coyuca sigue lo planteado por el INE-SEMARNAP (2000), en materia de monitoreo y evaluación de la calidad del agua de las zonas costeras y turísticas. En dicho trabajo se identifican seis categorías principales: biológicos (representados principalmente por los parámetros de coliformes fecales y totales), fisicoquímicos, geológicos, metales, compuestos orgánicos persistentes (COP) e hidrocarburos. El presente trabajo se centra en las dos primeras categorías.

Actualmente en México no se cuenta con valores de referencia de calidad del agua con carácter legal, para evaluar el estado del ambiente en zonas costeras, a excepción de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos. La observancia es obligatoria para los responsables de dicha descargas. Esta NOM, no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes y es la única que cuenta con carácter legal. Adicionalmente, a pesar de no tener carácter normativo, también se compararon los parámetros con los valores de referencia establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89), los cuales establecen los límites máximos permisibles para la protección de la vida acuática y para el uso recreativo con contacto primario (Anexo 2). De igual modo, se compararon los resultados obtenidos en la Laguna de Coyuca con los valores promedio reportados por el INE-SEMARNAP (2000) para diferentes lagunas costeras (Cuadro 7). Los parámetros con valores de cero hace referencia a que no fueron detectables por el método de análisis utlizado debido a que se encontraban por debajo del intervalo de lectura.

La profundidad promedio de las estaciones de muestreo fue de 2.5±0.8 m (Anexo 3), con un maximo de 4.6 m en el Canal de la Laguna en el mes de enero del 2012 y un mínimo de 1.3 m en los sitios El Embarcadero y Barra-Río Coyuca durante los meses de mayo y diciembre de 2011. No existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de profundidad durante los 12 meses de muestreo ($P=0.9997$; $P>0.05$ KW), sin embargo, se encontraron diferencias a nivel de sitio especialmente en el Canal de la Laguna, las demás observaciones forman un grupo con mayor homogeneidad ($P=0.0000$; $P<0.05$ KW) (Figura 24). La variación

en el nivel observado se atribuye a la precipitación pluvial (epoca de lluvias, de junio a octubre), al intenso uso del cuerpo de agua para riego agrícola, acuacultura y por la apertura de la Barra, ocasionado que su volumen pueda variar en lapsos relativamente cortos. La profundidad de las estaciones de monitoreo corresponden a la parte somera de la Laguna de Coyuca.

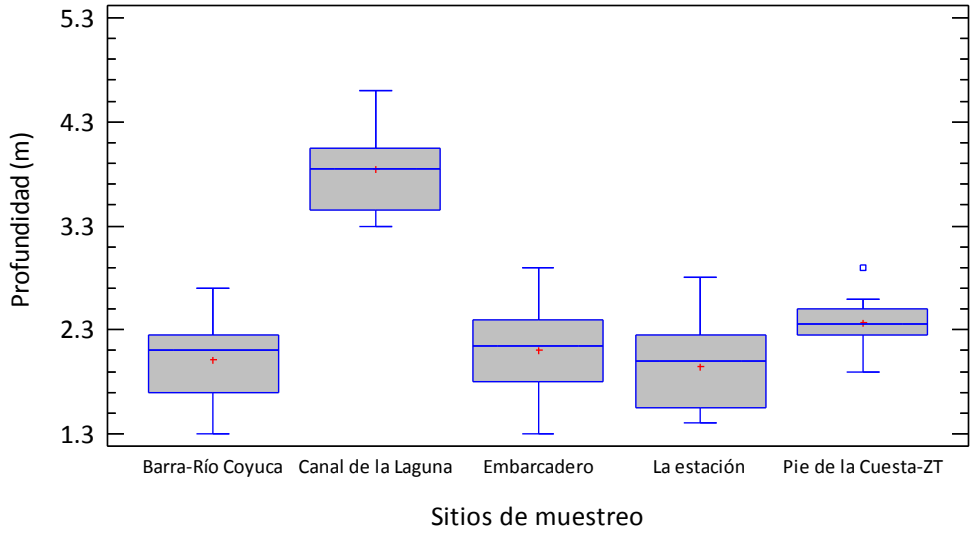

Figura 24. Variación de la profundidad por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca.

El agua de la Laguna de Coyuca presentó temperaturas relativamente homogéneas en todos los sitos de estudio sin diferencias significativas (P=0.6667; P>0.05 KW). Se encontaron diferencias significativas entre los 12 meses de muestreo (P=0.0000; P<0.05 KW), los registros de noviembre 10, febrero, octubre y diciembre 11, así como los de enero y febrero 12 conforman el grupo con mayor afinidad (Figura 25). La temperatura promedio fue de 28.9±2.0 °C con un máximo de 32.9 °C en la zona turística de Pie de la Cuesta en el mes de mayo de 2011 y un mínimo de 25.1 °C en el sitio de la Barra-Río Coyuca en el mes de noviembre de 2010. Estas mediciones concuerdan con los registros climatológicos señalados por García-CONABIO (1998a, b) en cuanto a temperatura mínima promedio y temperatura máxima promedio, donde se reportan temperaturas que van de los 20 a los 34 °C, acordes al clima de la región que es cálido-subhúmedo (tipo Aw) (García-CONABIO, 1998). De igual forma, los valores se encuentran dentro de los límites máximos de la NOM-001-SEMARNAT-19966 para descargas de aguas residuales en aguas costeras, para los usos de explotación pesquera, recreación y para estuarios, que es de 40 °C.

La distribución espacio-temporal de la temperatura del agua en la Laguna está influenciada por diversos factores, tales como la acción de los vientos, el periodo de insolación, la circulación local, las variaciones de sus volúmenes de agua y los periodos de lluvias y de estío. Estos datos indican que la Laguna de Coyuca mantiene a lo largo del año temperaturas relativamente altas si se compara con los ecosistemas continentales y uniformes si se hace la comparación con los ecosistemas costeros, permitiendo que la columna de agua se mantenga con una mezcla continua a lo largo del año, lo que favorece las condiciones para el desarrollo de la fauna y flora acuática**.** Según Contreras (2002) la temperatura promedio de un cuerpo de agua costero presenta un incremento en la medida de su ubicación hacia el sur del país, esta aseveración se corrobora al identificar la media promedio de las lagunas de Coyuca, Tres Palos, Chautengo, Chelem y los Sistemas lagunares Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereira (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación de los promedios mensuales de la calidad del agua en lagunas.

ID	Parámetro	Laguna de Coyuca (Guerrero)	Laguna Chelem (Yucatán)	Sistemas lagunares Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereira (Chiapas)	Laguna de Ixtapa (Guerrero)	Laguna de Términos (Campeche)	Laguna de Tres Palos (Guerrero)	Laguna de Chautengo (Guerrero)
1	Profundidad (m)	6.7					3.43	1.1
2	Transparencia al DS (cm)	59.3						0.48
3	pH (Unidad)	8.4				7		7.4
4	Temperatura (°C)	28.9	27.1	31.1			28.9	28.8
5	Conductividad (mS/cm)	2.1						
6	OD (mg/L)	5.2	5.1	7.5	5.3	2.2	10.1	4.7
7	NT (mg/L)	3		8.6			8.4	
8	$N\text{-}NH_3$	0.2	0.12			0.065	3.9	12.5
9	NO_2^- (mg/L)	0.1	0.009			0.005		0.7
10	NO_3^- (mg/L)	3.3	0.12			0.009		
11	PO_4^{3-} (mg/L)	0.7	0.057	18.2		0.38	0.9	1.3
12	DBO5 (mg/L)	82.4				2.4	79.8	
13	DQO (mg de O_2/L)	149.6				260		
14	Cl-L (mg/L)	0.07	0.005	0.027				
15	Cl-T (mg/L)	0.04						
16	SO_4^{2-} (mg/L)	96.5			2.2			
17	S^- (mg/L^-)	0.04			3.7			
18	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$)	89.5						
19	Dureza (mg/L de $CaCO_3$)	253.1						
20	ST (mg/L)	11.7						
21	GyA (mg/L)	29.7			6	0		
22	C. totales (NMP o UFC/100 mL)	199.3		4165	300,000	1323		
23	*E. coli* (NMP o UFC/100 mL)	9.1		2661	1133			

Fuente: INE-SEMARNAP, 2000; Díaz, *et al*., 2005; De la Lanza, *et al*., 2008.

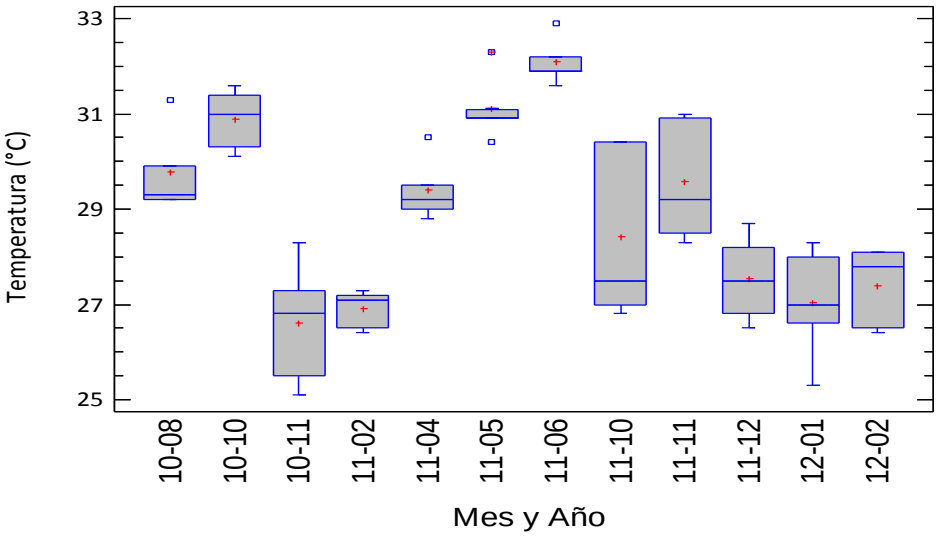

Figura 25. Variación mensual de la temperatura en la Laguna de Coyuca.

El comportamiento del pH mostró un promedio general de 8.4±0.7 unidades. Se encontraron diferencias significativas entre los sitios de muestreo (P=0.0000; P<0.05 KW). De acuerdo a la similitud de sus medias se conformaron dos grupos relativamente homogéneos, el primero constituido por los sitios El Embarcadero, el Canal de la Laguna y Pie de la Cuesta-ZT, y el segundo grupo integrado por La Estación y la Barra-Río Coyuca, con pH promedio de 8.8 y 7.9, respectivamente (Figura 26). Temporalmente no hay diferencias significativas (P=0.6255; P>0.05 KW). En Pie de la Cuesta y El Embarcadero se detectaron los valores máximos, con un pH de 9.7 durante los meses de mayo y octubre de 2011, mientras que en la Barra-Río Coyuca se registró el valor mínimo de 7.0 en el mes de noviembre de 2010. El promedio encontrado es aceptable al mantenerse dentro del intervalo de pH adecuado para la existencia de actividad biológica que es de 6.0 a 9.0, brindando protección a la vida de los peces de agua dulce y a los invertebrados que habitan en el fondo de la Laguna; también, permanece dentro del intervalo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996, para descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, que es de 5 a 10 unidades de pH.

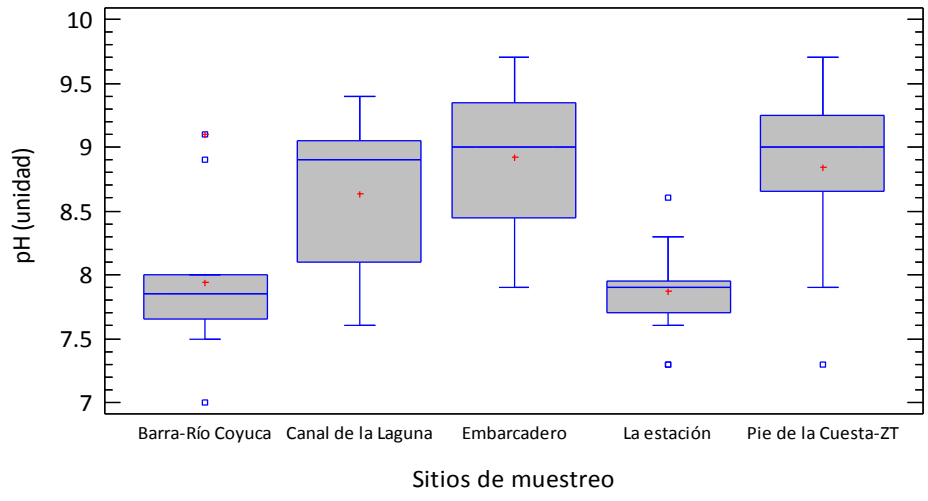

Figura 26. Variación del pH por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca.

Para el caso de sistemas costeros, Contreras (2002) señala que los valores de pH están determinados por el intercambio de CO_2 atmosférico y el agua, el cual genera ácido carbónico (H_2CO_3). La inestabilidad de este compuesto hace que se formen sales, las cuales quedan disueltas en el agua como carbonatos (CO_3^{-}) y bicarbonatos (HCO_3^{2-}) asociados a iones de carga positiva (Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}). Al existir mayor cantidad de esos compuestos, se provoca un aumento del pH (Broecker, 1974). En cambio, el agua de origen continental tiende a la neutralidad, por lo anterior, se esperaría que los registros de pH naturales dentro de una Laguna (porción que no interactúa con el mar) varíen en torno a ese último valor. Las tendencia del pH de la Laguna de Coyuca hacia la alcalinidad (valores mayores de 8.5) puede deberse a la actividad de organismos que intervienen en el ciclo del CO_2, tales como moluscos y bivalvos que, a su muerte, liberan cantidades significativas de carbonatos. Otra causa podría ser la precipitación de $CaCO_3$ a partir de suelos calcáreos y su resuspensión. Esto queda evidenciado por la presencia de una zona con costras de sales, en un sitio denominado Aserradero de las Salinas y ubicado al poniente de la Laguna. La Laguna de Coyuca posee valores similares a los de la Laguna Chelem en Yucatán, Laguna de Camichín en Jalisco y la Laguna de Ixtapa en Guerrero, en las que se ha detectado un pH por encima de 8 unidades. Valores más bajos han sido reportados en la Laguna Agua Dulce, Jalisco (pH 7.15), el Sistema Lagunar Machona, Tabasco (pH 7.7) y la Laguna de Términos, Campeche (pH 7.0) (INE-SEMARNAP, 2000).

La trasparencia o visibilidad al disco de Secchi tuvo un promedio mensual de 59.3±33.2 cm. Se detectó una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de visibilidad de los 5 sitios de muestreo (P=0.0013; P<0.05 KW) principalmente entre la Barra-Río Coyuca con respecto a Pie de la Cuesta, el Canal de la Laguna y El Embarcadero (Figura 27). De forma mensual no se encontraron diferencias significativas (P=0.1977; P>0.05 KW). La máxima transparencia de 200 cm se presentó en el sitio de la Barra-Río Coyuca en el mes de enero de 2012 coincidiendo con a la apertura de la Barra de Coyuca. La mínima se registró en el mes de agosto de 2010 con un valor de 23 cm en las cercanías del poblado La Estación durante la temporada de lluvias. En los márgenes centrales de la barrera y junto a la boca, la transparencia del agua casi correspondió al total de su profundiad, en la época de estiaje.

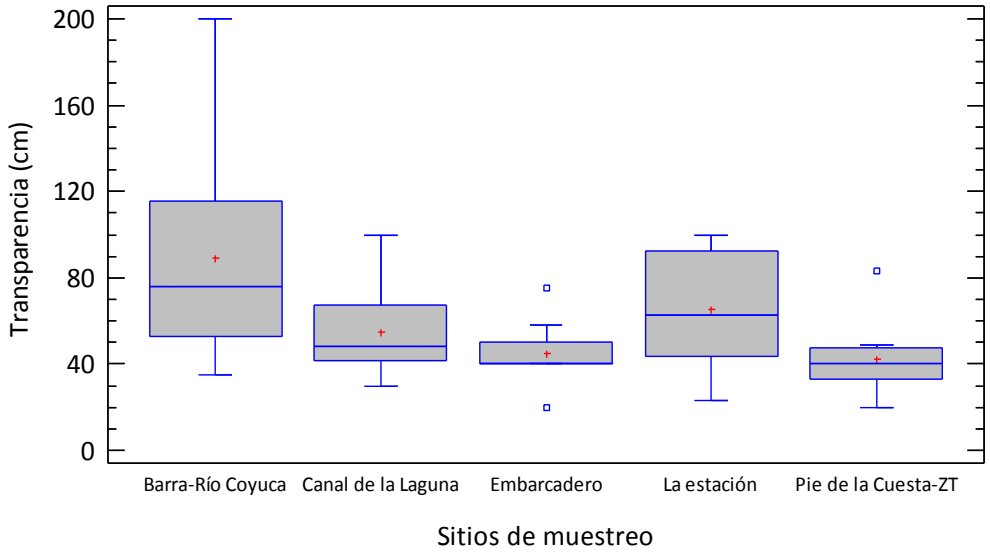

Figura 27. Variación de la transparencia por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca.

El comportamiento de este parámetro se encuentra relacionado con el aporte de sedimentos acarreados por los ríos y arroyos que alimentan esta Laguna, principalmente del Río Coyuca en la parte occidental, el río El Conchero y los escurrimientos locales de las zonas altas ubicadas en el extremo Norte del vaso lagunar, que se activan durante el periodo de lluvia. Estas partículas en suspensión dispersan la luz, provocando una disminución de la actividad fotosintética en plantas y algas, que trae como consecuencia una baja en la concentración de oxígeno. Asimismo, tiene influencia de los vientos, las mareas y la circulación en general, además, de la mediana profundidad del cuerpo de agua que favorece la resuspensión de sedimentos no consolidados del fondo.

El contenido de oxígeno disuelto (OD) en la columna de agua no prensentó diferencias significativas por sitio de muestreo, pero si se encontraron diferencia de forma mensual (P=0.7471, P>0.05 KW; P=0.0339, P>0.05 KW, respectivamente), con un valor promedio de 5.2±1.5 mg/L (Figura 28). Se registró una disminución de OD en el extremo norte de la Laguna de 2.7 mg/L en el mes de enero del 2012 en las cercanías del poblado El Embarcadero, este registro se encuentra por debajo de los límites mínimos establecidos en los Criterios Ecológicos, para el riego agrícola y la protección de la vida acuática marina de 4.5 y 5 mg/L respectivamente (De la Lanza, 1998; CE-CCA-001/89). La Barra-Río Coyuca fue el sitio con el valor más alto de OD de 8.9 mg/L en agosto 2010, no obstante, el área donde los niveles de OD se mantuvieron relativamente altos durante todo el periodo de evaluación fue la zona turística de Pie de la Cuesta (5.5 mg/L).

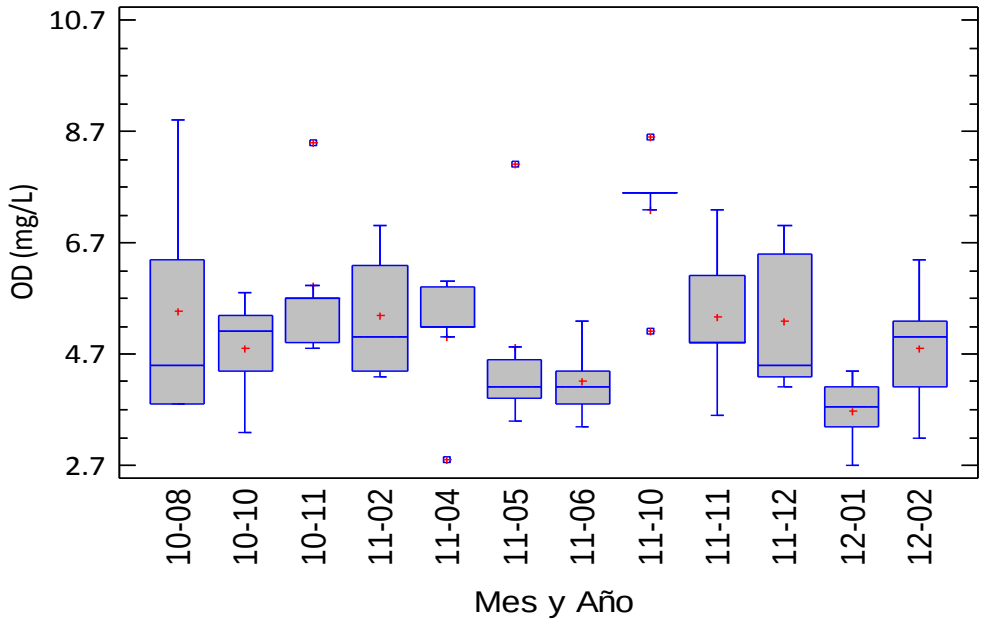

Figura 28. Variación mensual del OD en la Laguna de Coyuca.

En los casos en donde los niveles del oxígeno en el agua de la Laguna son bajos, puede deberse al consumo por diferentes organismos, tanto vegetales, animales y microorganismos, pero sobre todo por la materia orgánica proveniente de las descargas de aguas residuales de los poblados adyacentes (Figura 29). Cabe mencionar que las variaciones en la concentración de O_2 en la Laguna se encuentran en el intervalo descrito por Thurston, *et al.* (1979), para este tipo de sistemas (5.0 mg/L a 3.5 mg/L). El promedio de OD en la Laguna de Coyuca es más alto que en la Laguna de Términos (2.2 mg/L), es

semejante en la Laguna de Ixtapa (5.3 mg/L) y menor a los reportados para las lagunas de Tres Palos, Agua Dulce y el de los Sistemas lagunares Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereira, cuyo intervalo de OD oscila entre 7.5 a 10.1 mg/L (Anexo 3).

Figura 29. Proliferación de lirio acuático y carrizo en los margenes de la Laguna de Coyuca.

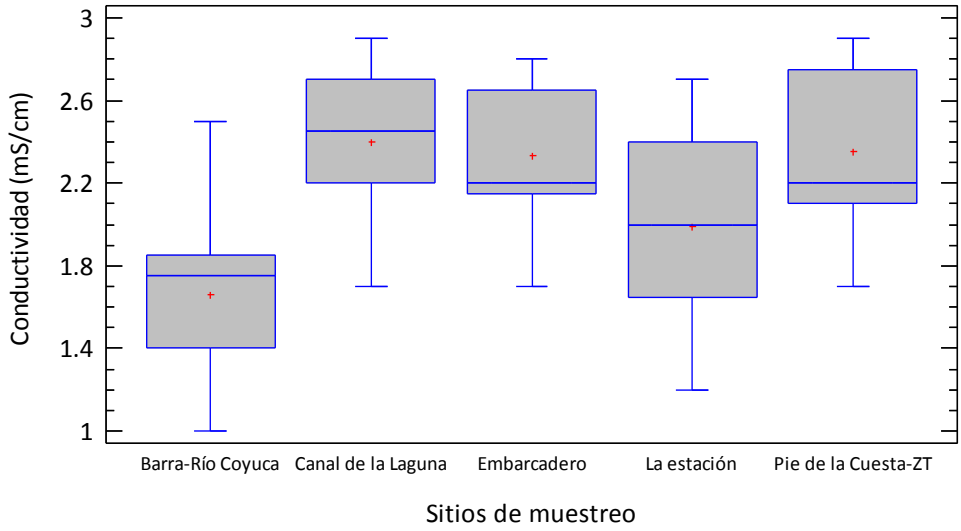

Figura 30. Variación de la conductividad por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca.

Respecto a la conductividad, la Laguna presentó un promedio de 2.1±0.5 mS/cm con un máximo de 2.9 mS/cm en la zona turística de Pie de la Cuesta en el mes de mayo de 2011 y un mínimo de 1.02 mS/cm en la Barra-Río Coyuca en enero de 2012. Se encontró que existen diferencias significativas de conductividad a nivel de sitio entre la Barra-Río Coyuca y los sitios Canal de la Laguna, El Embarcadero y Pie de la Cuesta-ZT ($P=0.0001$; $P<0.05$ KW) (Figura 30). El ciclo de estudio no presentó diferencias significativas ($P=0.0673$; $P>0.05$ KW). Los valores de conductividad altos se mantienen constantes en el Canal de la Laguna (ligera condición oligohalina en el área interna de la

desembocadura) y el interior de la Laguna. En esta porción, Aguirre (2001), afirma que es posible observar, a través de su respuesta reflectiva, que se trata de una zona de transición, en la que se combina la influencia de aguas relativamente claras del cuerpo principal de la Laguna con un aporte alto de partículas dispersoras y de transporte de sedimentos provenientes de la zona del canal, particularmente porque en la parte norte se tienen descargas de aguas residuales de la cabecera municipal.

El nitrógeno en sus diferentes formas presentó una variación espacio-temporal heterogénea. El N-T presentó diferencias significativas mensuales (P=0.0001; P<0.05 KW) (Figura 31). El promedio mensual fue de 3.0±3.8 mg/L, la concentración más alta registrada fue de 22 mg/L en El Embarcadero durante el mes de febrero de 2012, este valor excede el límite máximo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 de 15 mg/L, limitando el uso público urbano y amenazando la vida acuática. La concentración más baja de 0 mg/L de N-total, se registró en el Canal de la Laguna durante los meses de noviembre de 2010 y febrero de 2011, en La Estación en noviembre de 2010 y en la zona turística de Pie de la Cuesta en noviembre de 2010 y mayo de 2011. Espacialmente no se observaron diferencias significativas (P=0.5505; P>0.05 KW). De acuerdo con lo reportado por el INE-SEMARNAP (2000) los sistemas lagunares de Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereira presentaron promedios más altos (8.6 mg/L) que la Laguna de Coyuca. El nitrógeno se encuentra asociado generalmente con la materia orgánica y en la mayoría de los cuerpos acuáticos se encuentra sedimentado, por lo que sólo se aprovecha el que se encuentra suspendido en la columna de agua. De esta manera, puede haber pérdidas a través del sedimento de hasta 1.25 toneladas de nitrógeno por hectárea provenientes de la absorción del amonio por partículas de arcillas y el cual no puede ser aprovechado por los organismos autótrofos (Avnimelech, *et al.*, 1981).

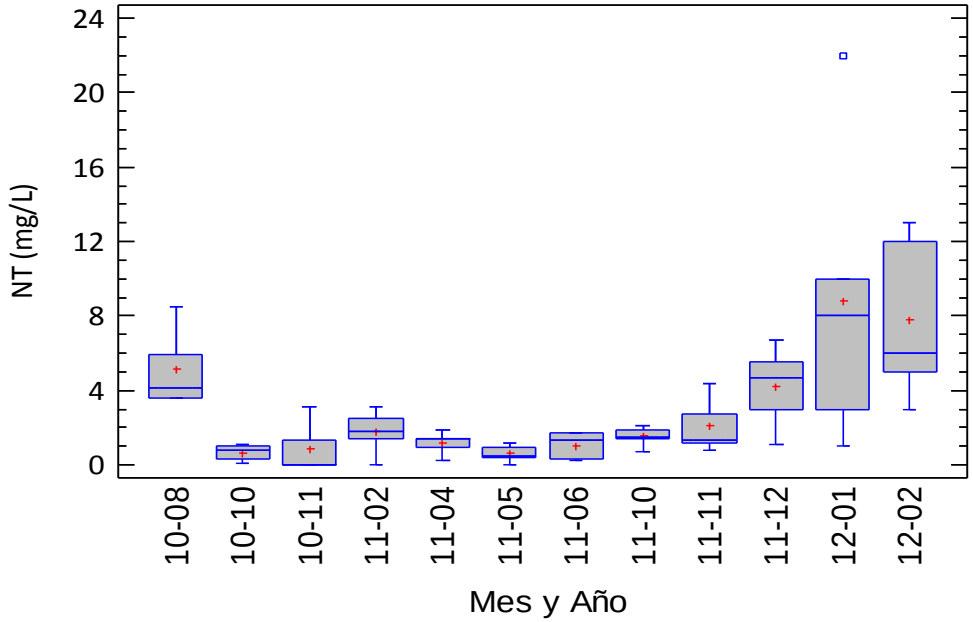

Figura 31. Variación mensual del nitrógeno total en la Laguna de Coyuca.

El nitrógeno amoniacal tuvo un promedio de 0.21±0.35mg/L de N-NH_3, variando en un intervalo de 2.27 mg/L en las cercanías del poblado La Estación en febrero de 2012 a 0 mg/L en el Canal de la Laguna

en el mes de junio de 2011. Se encontraron diferencias significativas entre las medias de NH_3 durante la período de estudio (P=0.0000; P<0.05 KW) y el mes de febrero (2012) presentó mayor variación (Figura 32). Los valores mínimos suceden cuando se detecta una mayor oxigenación del sistema. Los máximos se ubican en lapsos de características heterotróficas (verano e invierno) y en zonas aisladas en donde los procesos de descomposición de la materia orgánica dominan, como es el caso de los sitios de mayor profundidad y los que se encuentran asociados al manglar, como es el caso del Canal de la Laguna y La Estación, principalmente. No se observaron diferencias significativas entre los sitios de muestreo (P=0.7887; P>0.05 KW). Los datos obtenidos sitúan a la Laguna de Coyuca como un cuerpo de agua con concentraciones bajas en amonio semejantes a las concentraciones determinadas en la Laguna de Términos (0.065 mg/L), la Laguna Chelem (0.12 mg/L) y mostrando un gran diferencia con los valores registrados para la Laguna de Chautengo (12.5 mg/L) (INE-SEMARNAP, 2000). Sugiyama y Kawai (1979), mencionaron que el amonio se incorpora rápidamente en los organismos en los primeros niveles tróficos y únicamente una pequeña porción del nitrógeno incorporado es transferida a niveles más altos, absorbiéndose otra parte en la materia orgánica particulada.

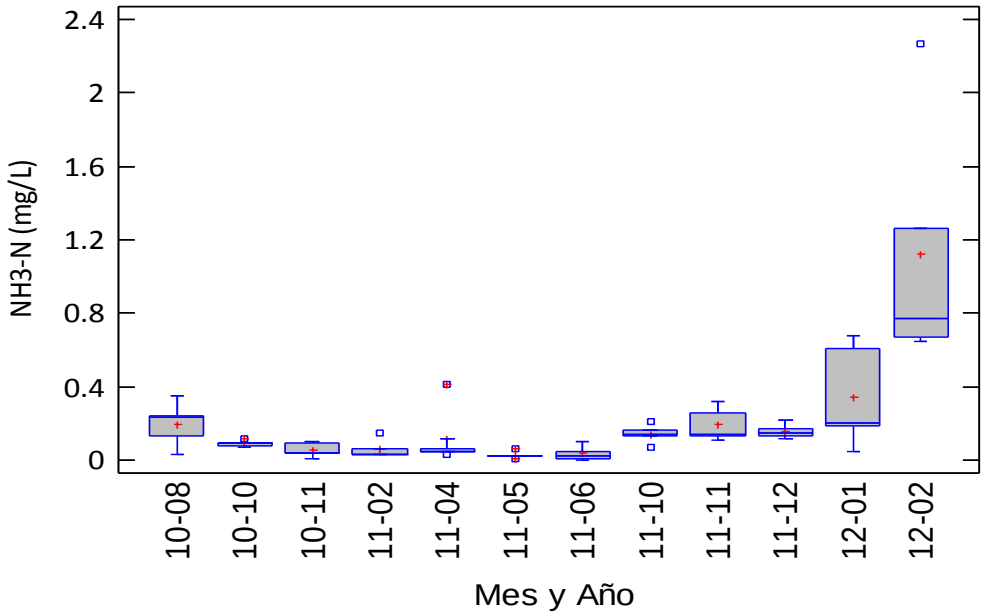

Figura 32. Variación mensual de nitrógeno amoniacal en la Laguna de Coyuca.

Los nitritos presentaron un promedio de 0.1±0.1 mg/L de $N\text{-}NO_2^-$ con un máximo de 0.6 mg/L en la zona turística de Pie de la Cuesta durante el mes de agosto de 2010 y un mínimo de 0 mg/L en la Barra-Río Coyuca en el mes de agosto de 2010 y en Pie de la Cuesta en abril de 2011. El análisis estadístico mostró diferencias significativas marcadas en los meses de agosto y noviembre de 2010 con respecto a los demás meses (P=0.0017; P<0.05 KW) (Figura 33). A nivel de sitio no se encontraron diferencias significativas (P=0.1331; P>0.05 KW). La mayoría de los datos reportados exceden el límite máximo de 0.002 mg/L para la protección de la vida acuática marina según los Criterios Ecológicos. Las concentraciones más altas se detectaron durante el periodo de lluvias. La Laguna de Coyuca presenta una concentración de nitritos superior a los encontrados en la Laguna Chelem (0.009 mg/L), el Sistema Lagunar Machona (0.03 mg/L) y la Laguna de Términos (0.005 mg/L), exceptuando a la Laguna de Chautengo en la que se detectó una concentración ligeramente más alta (0.7 mg/L).

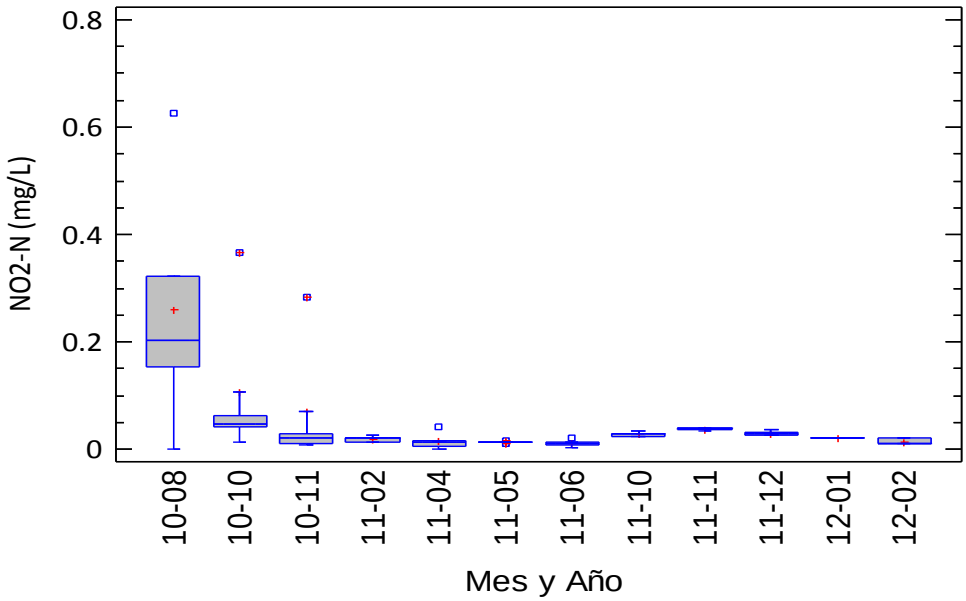

Figura 33. Variación mensual de los nitritos en la Laguna de Coyuca.

La concentración de nitratos fue irregular durante todo el año de estudio con diferencias estadísticamente significativas entre las medias mensuales (P=0.0018; P<0.05 KW), según la proximidad de sus medias se formaron dos grupos relativamente homogéneos, el primer grupo asocia los valores de 11 meses teniendo como excepción el mes de diciembre de 2012 y el segundo grupo excluye a los meses de octubre-noviembre de 2010, mayo 2011 y enero-febrero de 2012 (Figura 34). A nivel de sitio no se observaron diferencias significativas (P=0.4250; P>0.05 KW). El promedio mensual fue de 3.3±2.4 mg/L de $N\text{-}NO_3^-$ valor relativamente alto a los datos registrados para la Laguna de Términos (0.009 mg/L), Laguna Chelem (0.12 mg/L) y el Sistema Lagunar Machona (0.66 mg/L). El máximo registrado de 11.5 mg/L pertenece a Pie de la Cuesta en diciembre de 2011 y el mínimo de 0.5 mg/L a el Canal de la Laguna en noviembre de 2010. Todos los datos reportados exceden los límites máximos para la protección de la vida acuática marina según los Criterios Ecológicos, que es de 0.04 mg/L (Figura 36).

Los ortofosfatos presentan un promedio de 0.7±0.8 mg/L de PO_4^{3-}, fluctuó entre valores de 3.7 mg/L en La Estación en el mes de febrero de 2012 y de 0.06 mg/L en los sitios de Pie de la Cuesta (agosto 2010), Canal de la Laguna (octubre 2010) y El Embarcadero (diciembre 2011). Se encontraron diferencias significativas principalmente durante el mes de febrero de 2011 y 2012 (P=0.0000; P<0.05 KW) (Figura 35). En los sitios de muestreo no se observaron diferencias significativas (P=0.3252; P>0.05 KW). Los valores encontrados no rebasan el límite establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 de 5 mg/L para la utilización del agua en riego agrícola, uso público urbano, protección de la vida acuática, recreación y estuarios (Figura 36). Las actividades humanas que se desarrollan en la parte alta del municipio de Coyuca de Benítez han contribuido al enriquecimiento natural de las aguas, produciendo que más nutrientes puedan llegar a la Laguna, el origen de estos contaminantes son principalmente los escurrimientos urbanos que no tienen una buena canalización a las plantas de tratamiento de aguas residuales, métodos agrícola-ganaderos deficientes, entre otros.

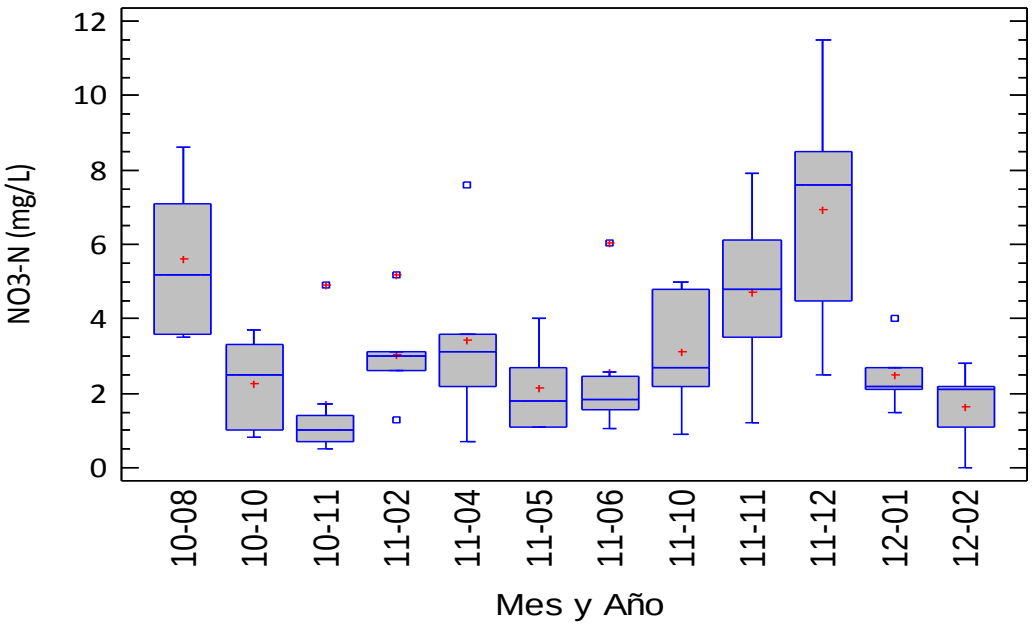

Figura 34. Variación mensual de los nitratos en la Laguna de Coyuca.

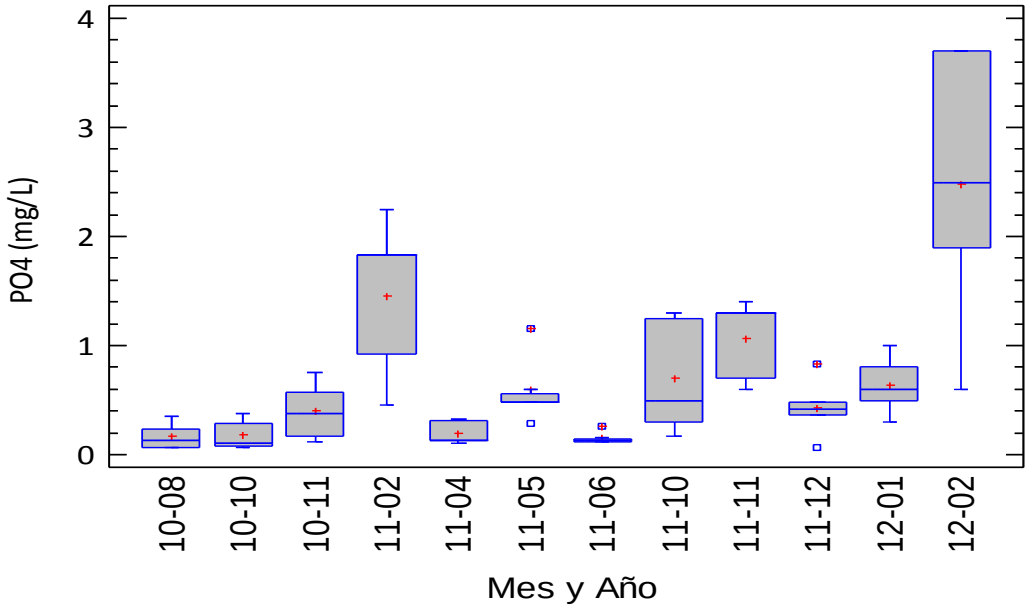

Figura 35. Variación mensual del fósforo en forma de ortofosfatos en la Laguna de Coyuca.

El valor para ortofosfatos (fosfatos inorgánicos) reportados comúnmente en aguas naturales suele variar de 0.01 a 5.00 mg/L. Rhee (1978) comprobó que más que la cantidad de nitrógeno o fosforo individual, es la relación entre ellos, conocida como relación N: P, la causante de las peculiaridades de los procesos de productividad primaria y/o eutrofización (Redfield, *et al.*, 1963). La concentración promedio de fósforo (en forma de ortofosfatos) en la Laguna de Coyuca es cercana a las promedios mensuales determinados para la Laguna de Chelem (0.057 mg/L), Laguna de Términos (0.38 mg/L) y el Sistema Lagunar Machona en Tabasco (0.30 mg/L); mientras que fue menor al compararla con la Laguna de Chautengo (1.3 mg/L) y el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola y de Carretas-Pereira (18.2 mg/L) (INE-SEMARNAP. 2000).

En general, distribución espacial y temporal de los nutrimentos son amplias, definidas principalmente por los aportes provenientes del arrastre de los ríos y escurrimientos de tierras altas (áreas de manejo agrícola, pecuario, forestal y urbano), las lluvias (periodo comprendido de junio a octubre), los procesos biogeoquímicos involucrados en la interfase sedimento-agua con la consecuente resuspensión y reciclamiento, los continuos aportes locales de los sitios que mantienen una estrecha relación con las actividades humanas como son las comunidades de Pie de la Cuesta, El Embarcadero y la Barra de Coyuca, así como, de materiales de diverso tipo (y su consecuente transformación vía descomposición bacteriana) proveniente de la vegetación sumergida y aledaña (Figura 37) (De La Lanza y Arenas, 1986).

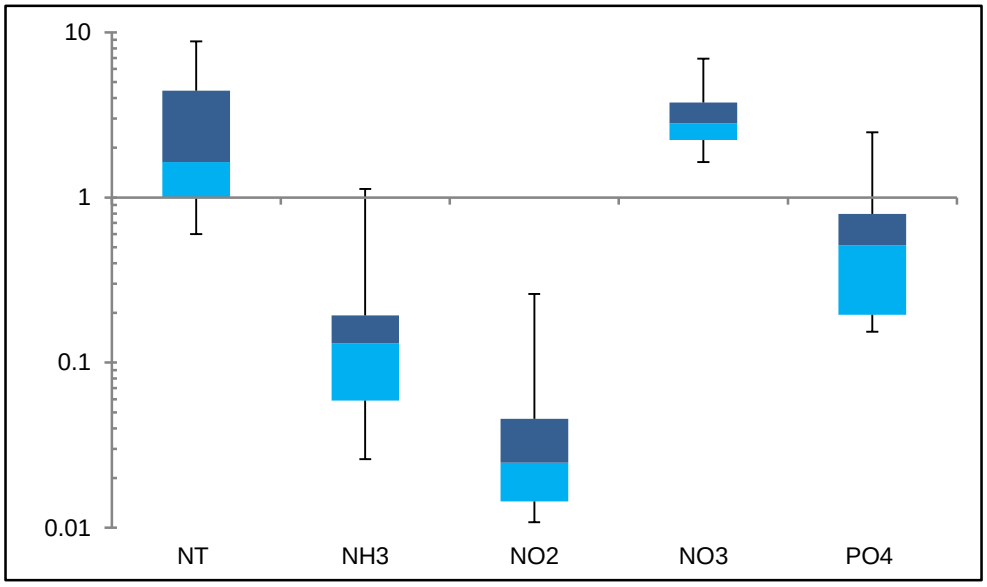

Figura 36. Nutrimentos en la Laguna, promedio anual.

Figura 37. Proliferación de lirio acuático y carrizo, poblado La Estación.

De acuerdo con Aguirre (2001), la Laguna de Coyuca se considera un sistema acuático mesotrófico con base en las concentraciones de clorofila *a,* que se ubican en el intervalo 0.017-18.083 mg/m^3 (clasificación de Wetzel y Likens, 1979). Otros ejemplos de zonas con tendencia a la eutrofización son la Laguna costera La Joya-Buenavista, en Chiapas, y la Laguna Bojórquez, en Cancún, Quintana Roo. La eutrofización ha sido planteada como una alteración grave en muchos ecosistemas acuáticos incluyendo zonas costeras, donde el aumento de sales nutritivas ha ocasionado, indirectamente, severos problemas de salud humana (Nixon 1995; Vollenweider, *et al.*, 1992).

El análisis biológico mostró una concentración mínima de 0 UFC/100 ml de coliformes totales en tres sitios de muestreo; dos de estos valores se encontraron en el Canal de la Laguna, en los meses de agosto de 2010 y febrero de 2011. Los otros dos sitios en los que se reporta este mismo valor son El Embarcadero en mayo de 2011 y La Estación en noviembre del mismo año. Los máximos de estas bacterias se encontraron en la Barra-Río Coyuca con 2,720 NMP/100 ml en el mes de junio de 2011, seguido de la zona turística de Pie de la Cuesta con valores de 2,180 y 2,000 UFC/100 ml durante los meses de noviembre de 2010 y junio de 2011. Las medias mensuales de coliformes totales mostraron diferencias significativas (P=0.0084; P<0.05 KW), entre el mes de junio de 2011 y los meses de mayo, octubre, noviembre y diciembre 2011, así como enero y febrero 2012 (Figura 38). A nivel de sitio no se observaron diferencias significativas (P=0.3936; P>0.05 KW). Los tres valores exceden los límites de los Criterios Ecológicos (1989) en cuanto a recreación con contacto primario (1,000 NMP/100 mL). La Laguna de Coyuca con un promedio mensual de coliformes totales de 199.3 UFC/l00mL ostenta valores relativamente bajos comparados con los reportados en la Laguna de Agua Dulce (455.7 NMP/100 mL), la Laguna de Ixtapa (30,000 NMP/100 mL) y la Laguna de Términos (1,323 NMP/100 mL).

Existen diferencias significativas temporales de las bacterias *E. coli* (P=0.0012, P<0.05 KW) (Figura 39). El mes de junio de 2011 presenta la media con diferencia más significativa, los demás meses forman un grupo relativamente homogéneo. La prueba de rangos asocia a las cinco estaciones de monitoreo como un grupo homogéneo sin diferencias significativas (P=0.3660; P<0.05 KW). El intervalo de concentración de *E. coli* detectado en la Laguna es de 0–120 UFC/100 ml. El sitio con la mayor presencia de esta especie es la Barra-Río Coyuca durante el mes de junio de 2011. Los valores se encuentran dentro de los límites máximos de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (1,000 NMP/100 mL). Del mismo modo, no exceden el límite que establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (1989) de 200 NMP/100mL para uso recreativo y para la protección de la vida acuática marina. El promedio mensual de *E. coli* en la Laguna de Coyuca fue de 9.1 UFC/100mL valores nuevamente bajos a la concentración de coliformes fecales detectada en la Laguna de Ixtapa (300,000 NMP/100 mL), el de los Sistemas lagunares Chantuto-Panzacola (24,000 NMP/100 mL NMP/100 mL) y el de la Laguna de Términos (1,133 NMP/100 mL).

La calidad microbiológica del agua es muy variable y pueden producir aumentos repentinos en la concentración de patógenos que pueden ampliar considerablemente el riesgo de brotes y enfermedades transmitidas por el uso de agua contaminada. En términos generales, la presencia de organismos coliformes en los sitios muestreados derivan de las infiltraciones de las fosas sépticas cercanas a la Laguna, descargas de aguas residuales domésticas de la zona urbana de la cabecera

municipal de Coyuca de Benítez, así como, por los excrementos de animales (incluidos los de las aves), lo cuales pueden ser fuente de microorganismos patógenos, como bacterias, virus, protozoos y helmintos. La presencia y extensión de contaminación fecal indica la necesidad de adoptar medidas sanitarias relativas a la contaminación microbiológica en el agua, sobre todo porque se emplea en el sector agrícola, turística y acuícola, actividades económicas preponderantes en el municipio de Coyuca.

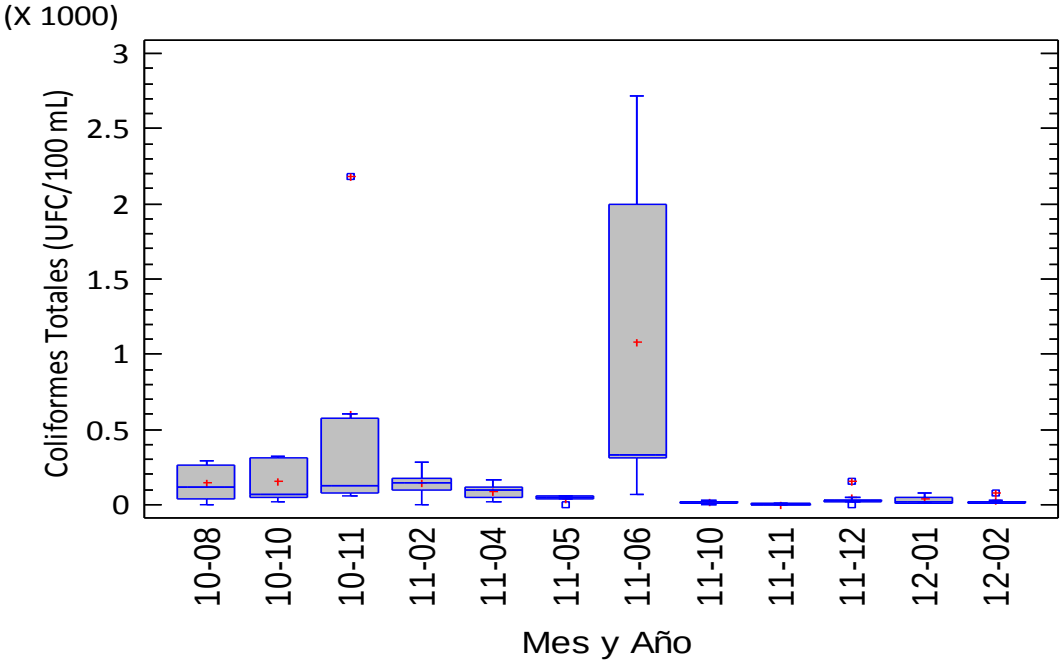

Figura 38. Variación mensual de la concentración de bacterias coliformes totales en la Laguna de Coyuca.

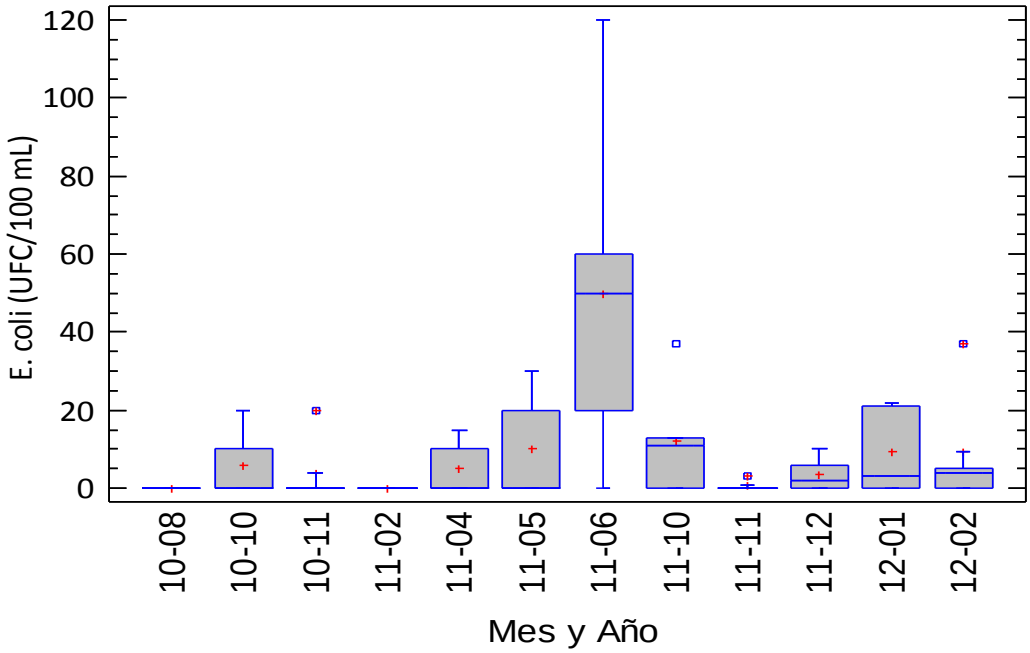

Figura 39. Variación mensual de concentración de las bacterias *E. coli* en la Laguna de Coyuca.

La DBO5, con un promedio mensual de 82.4±33.6 mg/L, ostentó un máximo de 162 mg/L en el sitio de la Barra-Río Coyuca en el mes de octubre de 2011 y un mínimo de 28.2 el Canal de la Laguna durante el mes de en febrero de 2011. Se encontraron diferencias significativas de DBO5 primordialmente en las medias de los meses de febrero y octubre de 2011, así como, en enero y febrero de 2012 (P=0.0000; P<0.05 KW) (Figura 40). No se observaron diferencias significativas a nivel de sitio (P=0.8013; P>0.05 KW). La mayoría de los valores determinados sobrepasan los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la protección de la vida acuática, uso público urbano, uso en riego agrícola y recreación (Anexo 2), a excepción de El Embarcadero que tiene un promedio mensual de 72 mg/L y es apto para los dos últimos usos. No obstante, las concentraciones altas quedan dentro de los límites establecidos para explotación pesquera (150 mg/L), exceptuando de todos los usos al valor máximo registrado (Anexo 3). La DBO5 en la Laguna de Coyuca es ligeramente más alta que los valores reportados para la Laguna de Tres Palos con un intervalo de 43.6 a 116 mg de O2/L y se encuentra por encima de los valores registrados para la Laguna de Términos de 2.4 mg/L y los del Sistema Lagunar Nichupté-Bojórquez, Quintana Roo, de 4.077 mg/L.

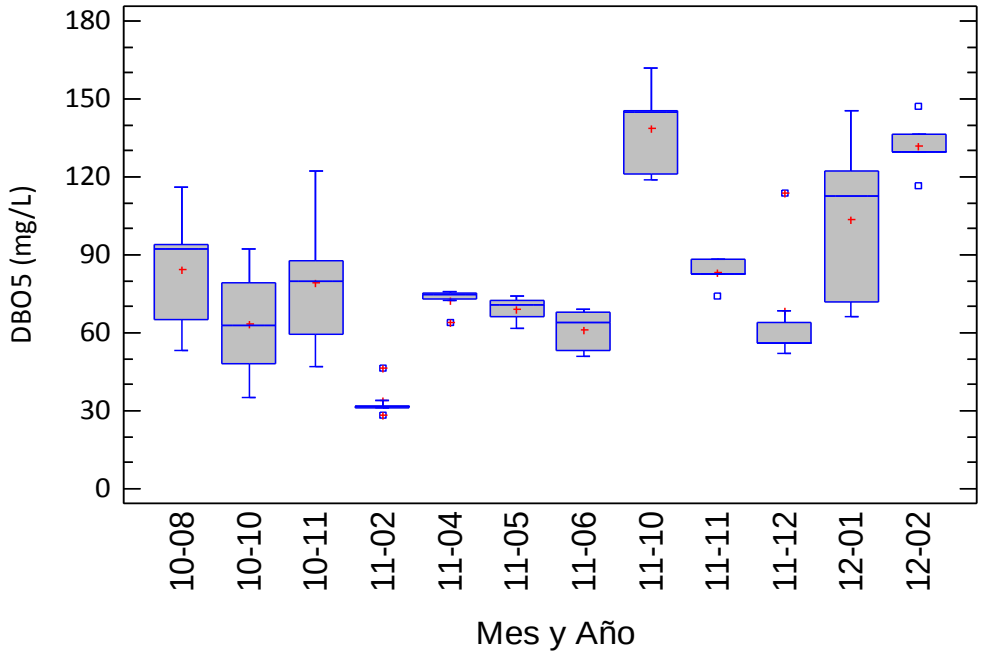

Figura 40. Variación mensual de la DBO5 en la Laguna de Coyuca.

La DQO con un promedio mensual de 154.6±65 mg/L tuvó un máximo de 333.4 mg/L en la Barra-Río Coyuca en el mes de noviembre de 2011 y un mínimo de 31.8 mg/L en La Estación durante el mes de en febrero de 2011. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los 12 meses de muestreo (P=0.0011; P<0.05 KW), destacando las diferencias entre febrero de 2011 con los meses de abril, octubre, noviembre y diciembre del mismo año (Figura 41). A nivel de sitio no se encontaron diferencias significativas (P=0.1756; P>0.05 KW). La DQO determinada en la Laguna de Coyuca es muy elevada en comparación con los registros publicados para el Sistema Lagunar Nichupte-Bojórquez (77.5 mg/L) y la Región Estuarina del Río Pánuco (113 mg/L), sin embargo, existen otros cuerpos de agua con concentraciones más altas como la Laguna de Términos en la que se han detectado concentraciones de 260 mg/L. No existe ninguna normatividad que regule la concentración de este parámetro. Las altas concentraciones de DBO5 y DQO presentes en la Laguna, puede deberse a la

deficiente infraestructura de los servicios básicos de alcantarillado, drenaje, rellenos sanitarios y plantas de tratamiento en el municipio. El 85% de la población rural y el 26% de la población urbana no cuenta con el servicio de alcantarillado sanitario y a nivel Estatal existe actualmente un 73% de déficit en el tratamiento de aguas residuales (POET, 2009).

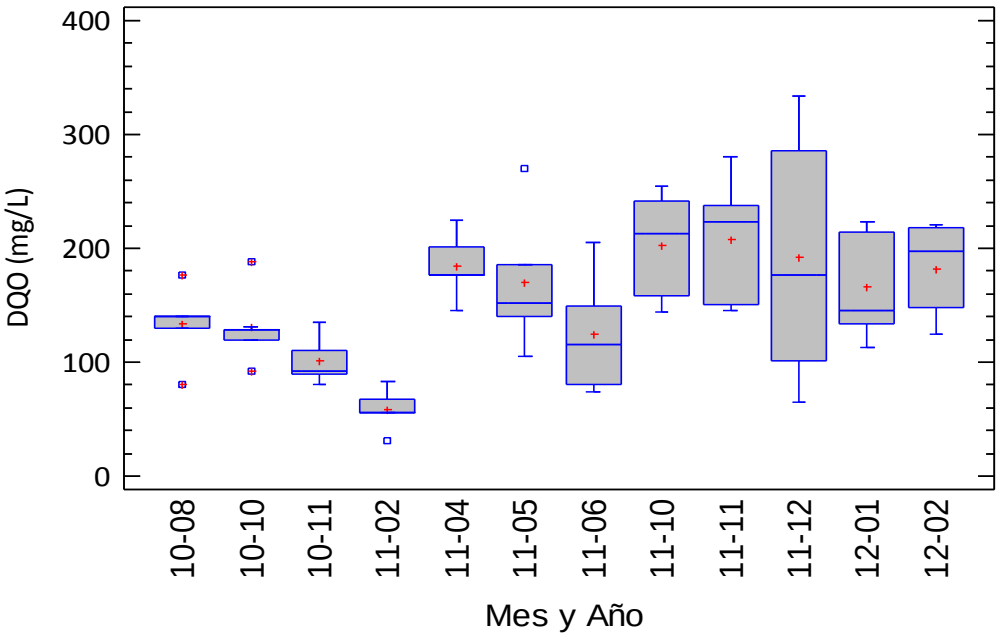

Figura 41. Variación mensual de la DQO en la Laguna de Coyuca.

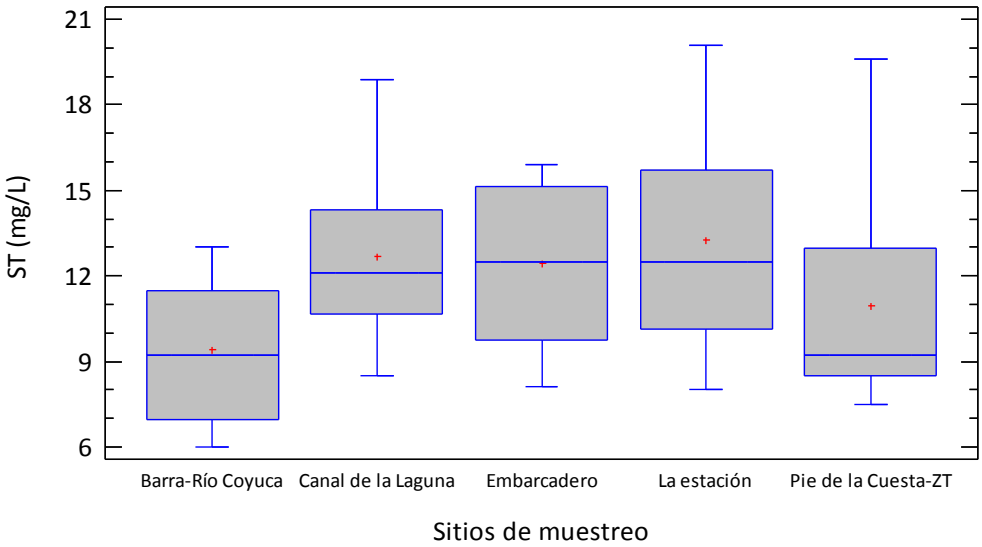

Figura 42. Variación de los sólidos totales por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca.

Los ST presentaron un promedio mensual de 11.7±3.4 mg/L con un máximo de 20.1 en La Estación en el mes de febrero de 2012 y un mínimo de 6.0 mg/L en el sitio de la Barra-Río Coyuca en el mes de octubre de 2011. A nivel de sitio existen diferencias significativas especialmente entre las medias de la Barra-Río Coyuca y el poblado La Estación (P=0.0325; P<0.05 KW) (Figura 42). Temporalmente no existen diferencias significativas (P=0.1592; P>0.05 KW). El Río Coyuca, es el principal receptor de las

descargas y residuos sólidos de tipo doméstico provenientes de La Cabecera Municipal, Las Lomas y El Bejuco. Contribuyen a este problema las descargas de las granjas piscícolas ubicadas en la periferia de la Laguna de Coyuca, así como la infiltración de agua residual que generan las viviendas, restaurantes, locales comerciales y servicios localizados a lo largo de la Barra de Coyuca. Los sedimentos como arena, limo y arcillas, contribuyen directamente sobre el proceso de eutrofización. Los más livianos que quedan en suspensión impiden el paso de luz y los que sedimentan también obstaculizan la fotosíntesis de las plantas sumergidas.

Los valores de alcalinidad registrados durante este trabajo indican una tendencia a la dureza con un promedio mensual de 89.5±17.6 mg/L de $CaCO_3$ un máximo de 124 mg/L en la Barra-Río Coyuca en octubre de 2011 y un mínimo de 56 mg/L en la Barra-Río Coyuca en diciembre del mismo año. Existe una diferencia estadísticamente significativa entre los 5 sitios de muestreo (P=0.0325; P<0.05 KW), sobresaliendo tres grupos, el primero lo compone la Barra-Río Coyuca y La Estación, el segundo grupo lo constituyen La Estación y el Canal de la Laguna y el tercero El Embarcadero, Pie de la Cuesta y el Canal de la Laguna (Figura 43). Mensualmente no se descubrieron diferencias significativas (P=0.7616; P>0.05 KW). Los resultados obtenidos mostraron que se trata de aguas de alcalinidad media (17-150 mg/L de $CaCO_3$), con valores menores al promedio mensual reportado en la Laguna La Nacha, Tamaulipas, de 199 mg/L (Kevern, *et al.*, 1989; DUMAC, 2007).

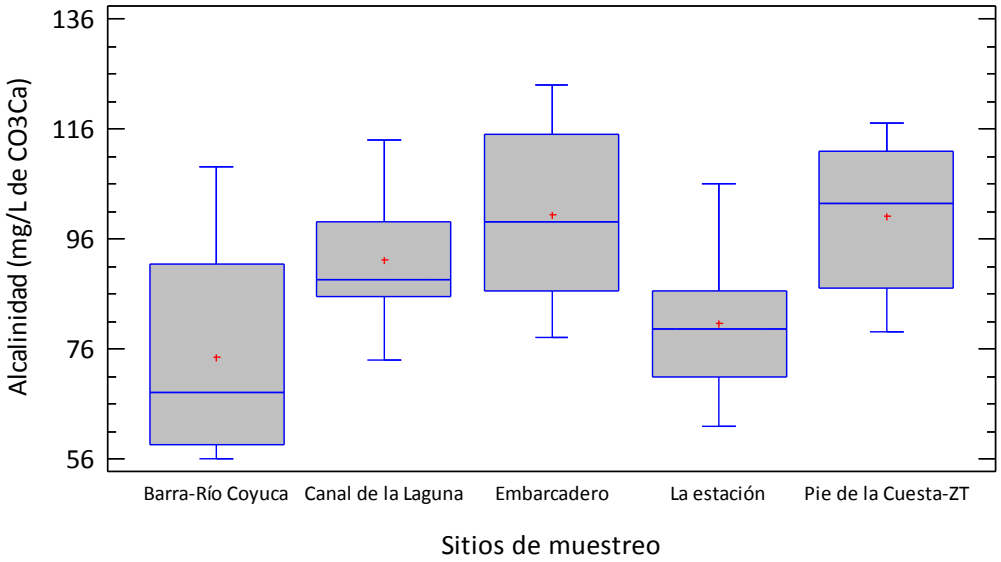

Figura 43. Variación de la alcalinidad por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca.

La alcalinidad del agua en sus diferentes formas ejerce un efecto amortiguador para evitar los cambios bruscos de pH. La alcalinidad observada puede atribuirse a la redisolución de minerales que se encuentran en forma de carbonatos y bicarbonatos que disuelve el agua al entrar en contacto con los estratos que los contienen. También por la acción del CO_2 atmosférico al disolverse en el agua; así como a la intensa actividad sulfato-reductora (Garrels y Christ, 1965; Stumm y Morgan, 1980).

La dureza total muestra un promedio mensual de 253.1±101.7 mg/L de $CaCO_3$ con un máximo de 410 mg/L en el Canal de la Laguna en noviembre de 2011 y un mínimo de 54 mg/L en la Barra-Río Coyuca

en enero de 2012. El analisis estadístico revelo diferencias significativas por sitio y por mes (P=0.0354, P<0.05 KW; P=0.0060, P<0.05 KW, respectivamente) (Figura 44 y 45). La prueba de múltiples rangos ubica a todos los sitios del estudio en un sólo grupo homogéneo sin diferencias significativas; mensualmente se localizaron diferencias entre las medias de abril y mayo de 2011. Los valores obtenidos mostraron que se trata de aguas duras (>120 mg/L de $CaCO_3$), cuyos valores están por debajo de la dureza total registrada para la Laguna de Tres Palos, Guerrero (113 - 872 mg/L) y la Laguna de Nancha, Tamaulipas (499 mg/L en promedio mensual) (Lemos, *et al.*, 1978; DUMAC, 2007).

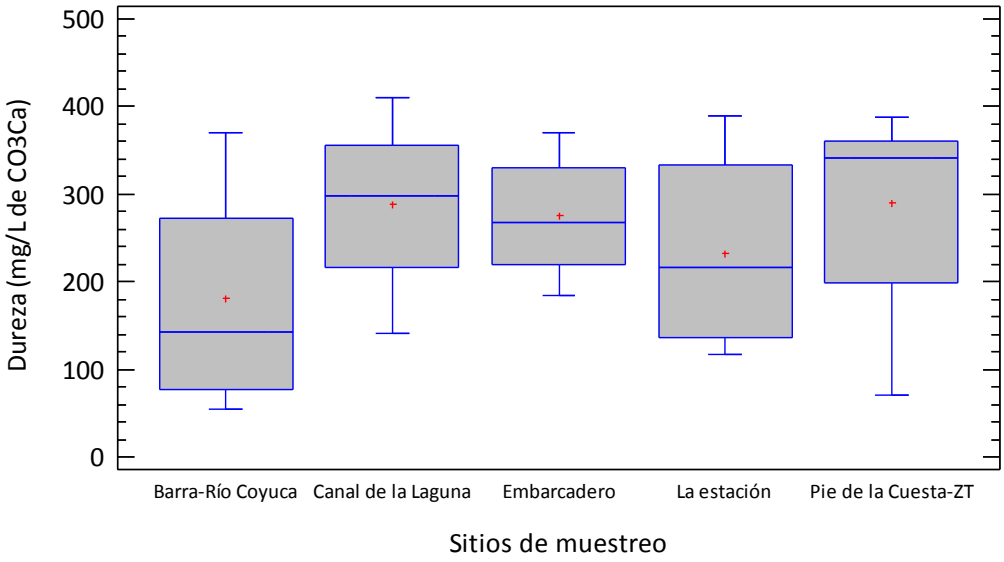

Figura 44. Variación de la dureza del agua por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca.

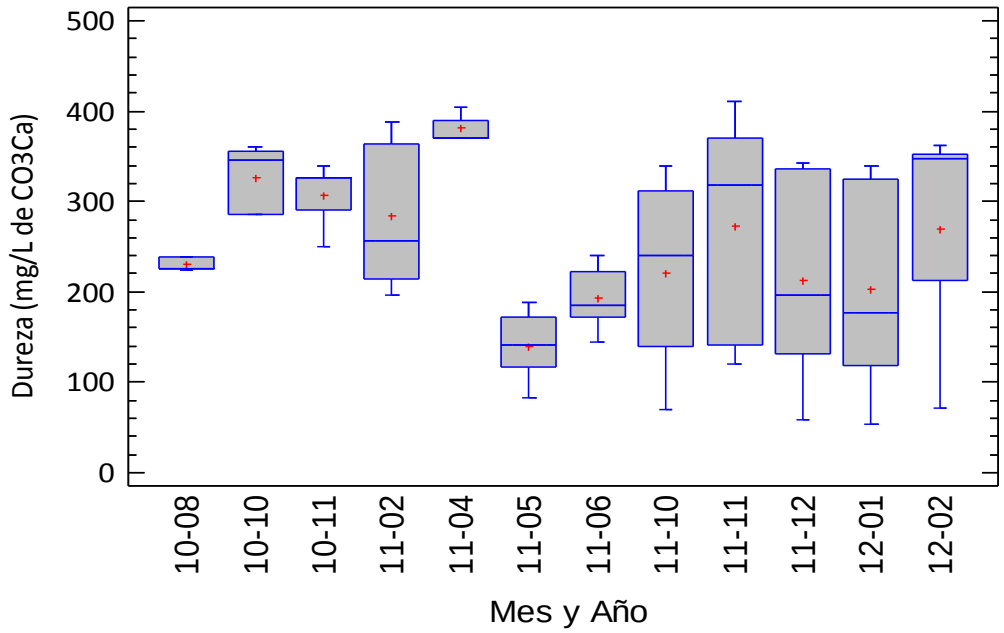

Figura 45. Variación mensual de la dureza del agua en la Laguna de Coyuca.

Durante el periodo de muestreo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de grasas y aceites (P=0.0484; P<0.05 KW), la prueba de rangos múltiples considera a todas las medias mensuales como un grupo homogéneo (Figura 46). A nivel de sitio no se observaron diferencias significativas (P=0.1086; P>0.05 KW). Se determinó un promedio mensual de 28.8±38 mg/L registrando un mínimo 3.5 mg/L en el mes de abril de 2011 en el Canal de la Laguna y un máximo de 253.6 mg/L en la Barra-Río Coyuca durante el mes de febrero de 2012, por lo que excede significativamente los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece un valor de 15 mg/L adecuado a lo relacionado con la explotación pesquera, navegación, recreación y en estuarios. Todos los sitios, sin excepción, sobrepasaron en el promedio mensual los límites máximos permitidos de grasas y aceites.

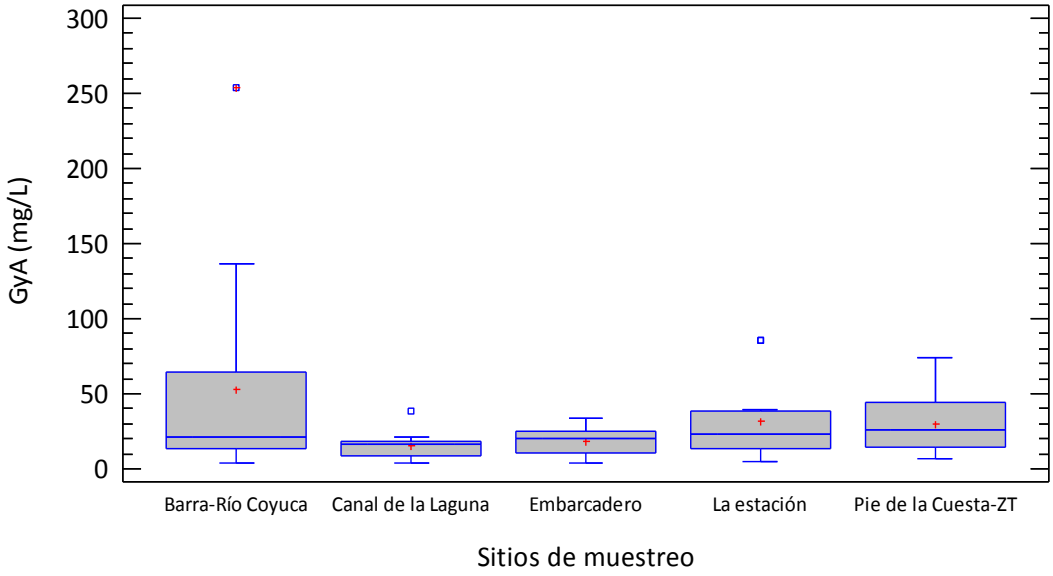

Figura 46. Distribución espacial de grasas y aceites en la Laguna de Coyuca.

El sitio con mayor contenido de GyA puede de porque es el punto de encuentro y acumulación de los contaminantes provenientes de la Laguna de Coyuca y ríos que desembocan en el canal que conduce a la Barra, donde finalmente serán descargados al mar. En general, durante la época de secas el agua de este sitio es de mala calidad, evidenciado por la gran cantidad de sólidos suspendidos disueltos, abundancia de lirio acuático y la presencia de fauna acuática en estado de descomposición. Las grasas y aceites detectados en la zona turística de Pie de la Cuesta y La Estación, pueden provenir del constante tránsito de embarcaciones pesqueras y turísticas, así como por descargas provenientes de las zonas habitacionales, establecimientos y locales comerciales situados en los margenes de la Laguna. Este parámetro sobresale sobre los valores encontrados de 0 mg/L y 6 mg/L en la Laguna de Términos y la Laguna de Ixtapa respectivamente y es similar al promedio mensual encontrado en la Bahía de Acapulco de 28.84 mg/L.

Los sulfatos en la Laguna mostraron un promedio de 96.5±70.1 mg/L con un máximo de 460 mg/L en La Estación durante el mes de noviembre de 2010 y un mínimo de 17 mg/L en El Embarcadero en el mes de febrero de 2012. Este sitio interactua con el mar al abrirse la barra (en la época de lluvias principalmente) y también recibe los aportes directos de agua dulce procedentes del Río Coyuca. No

existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de sulfatos por sitio (P=0.0810; P>0.05 KW) y por mes (P= 0.7538; P>0.05 KW). En la Laguna de Coyuca los sulfatos muestran una mayor concentración en los meses de secas, disminuyendo en los meses de lluvias, al diluirse con la entrada de agua dulce. Los estudios realizados en la Laguna de Mezcaltitán, Nayarit, coinciden en que la disminución del aporte fluvial y el aumento de temperatura provocaron un incremento de la salinidad y altos contenidos de sulfatos, reportando gradientes de 220 hasta 2,220 mg/L los cuales están muy por arriba de los encontrados en la zona de estudio (De La Lanza, 1984). La NOM-001-SEMARNAT-1996, no establece un límite máximo permisible para este parámetro, mientras que los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua determinan un límite para la protección de vida acuática (agua dulce) de 0.005 mg/L, valor de referencia muy bajo comparado con los resultados obtenidos.

La NOM-127-SSA1-1994 sobre salud ambiental de agua para uso y consumo humano establece un limite permisible de 400 mg/L de sulfatos por lo que, a excepción de valor máximo registrado, puede ser apta para su consumo, con las respectivas reservas de los demás indicadores de calidad del agua. A pesar de que no se considera como un parámetro hidrológico de rutina en ambientes costeros, dada la influencia del mar (principal depósito de sulfato soluble), la determinación del ion sulfato tiene importancia por que procede del lavado de terrenos circundantes y es una estimación que se considera dentro del cuadro de la calidad de aguas naturales. Se especula que los principales aportes de sulfatos en la Laguna de Coyuca proceden de la parte alta de la cuenca, algunos se originan de la mineralización y erosión de rocas (como la barita, epsomita, yeso, etc.). Otras aportaciones provienen del agua de lluvia, donde el sulfato es el segundo anión de mayor concentración, así como componentes de productos empleados en la industria, la purificación de agua y aditivos de alimentos, particularmente como fertilizantes, pesticidas, colorantes, jabón, papel, vidrio, fármacos, sulfato de aluminio, sulfato de cobre, entre otros (Torres, *et al.*, 2006; Graniel, *et al.*, 2009).

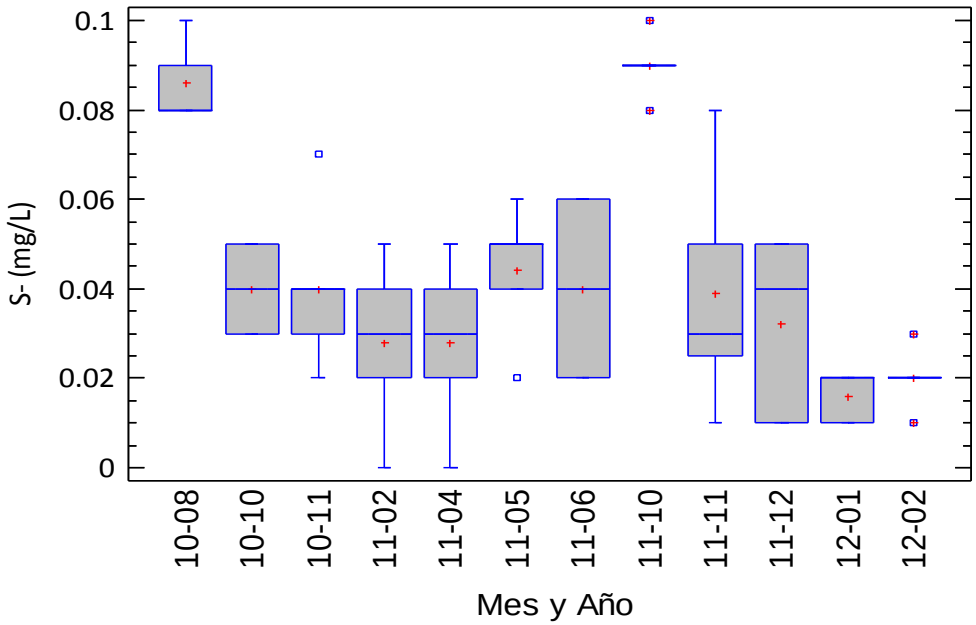

Figura 47. Variación mensual de la concentración de sulfuros en la Laguna de Coyuca.

Los sulfuros presentaron un promedio mensual de 0.04±0.03 mg/L de S^{2-} en la Laguna, encontrandose diferencias significativas mensuales principalmente en agosto de 2010 y octubre de 2011 con respecto a los demás meses (P=0.0000; P<0.05 KW) (Figura 47). A nivel de sitio no se encontraron diferencias significativas (P>0.5483; P>0.05 KW). Las concentraciones máximas de 0.10 mg/L pertenecen a los sitio de la Barra-Río Coyuca en agosto de 2010 y en la zona turística de Pie de la Cuesta en octubre de 2011, el valor mínimo determinado es de 0 mg/L que corresponde a la Barra-Río Coyuca durante los meses de febrero y abril de 2011. La NOM-SEMARNAT-001-1996 no fija un valor límite permisible para este parámetro en los embalses naturales y aguas costeras.

El cloro libre (Cl-L) y cloro total (Cl-T) se mantuvieron en intervalos relativamente bajos en todos los sitios de muestreo, sin mostrar diferencias significativas (P=0.9873, P<0.05 KW; P=0.5573, P<0.05, respectivamente).

El cloro libre presentó un promedio mensual de 0.07±0.06 mg/L con un intervalo de 0.01-0.30 mg/L para el Canal de la Laguna (agosto 2010) y la Barra Río Coyuca (junio 2011) respectivamente, manteniéndose por debajo del límite de 2.5 mg/L establecido por los Criterios Ecológicos. Se observaron diferencias significativas mensuales, los períodos con mayor variación son febrero, abril y junio de 2011 (P=0.0001; P<0.05 KW) (Figura 48).

El cloro total mostró diferencias temporales significativas (P=0.0396, P>0.05 KW) con un promedio de 0.04±0.02 mg/L, fluctuando entre valores de 0.01 mg/L en los sitios de La Estación (octubre 2010) y la Barra-Río Coyuca (octubre 2011) (Figura 49). En el Canal de la Laguna se detectó el valor más alto de 0.10 mg/L (febrero de 2011). Estos resultados pueden atribuirse a que son fácilmente reducidos a cloruro y a la gran capacidad de dilución del cuerpo de agua, sobre todo en la época de lluvias.

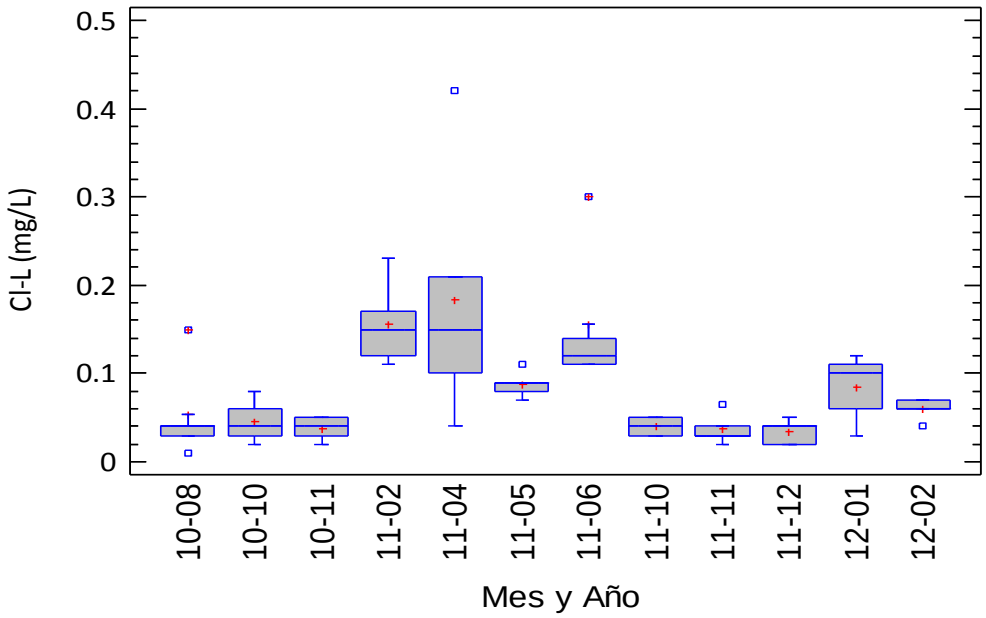

Figura 48. Variación mensual del cloro libre en la Laguna de Coyuca.

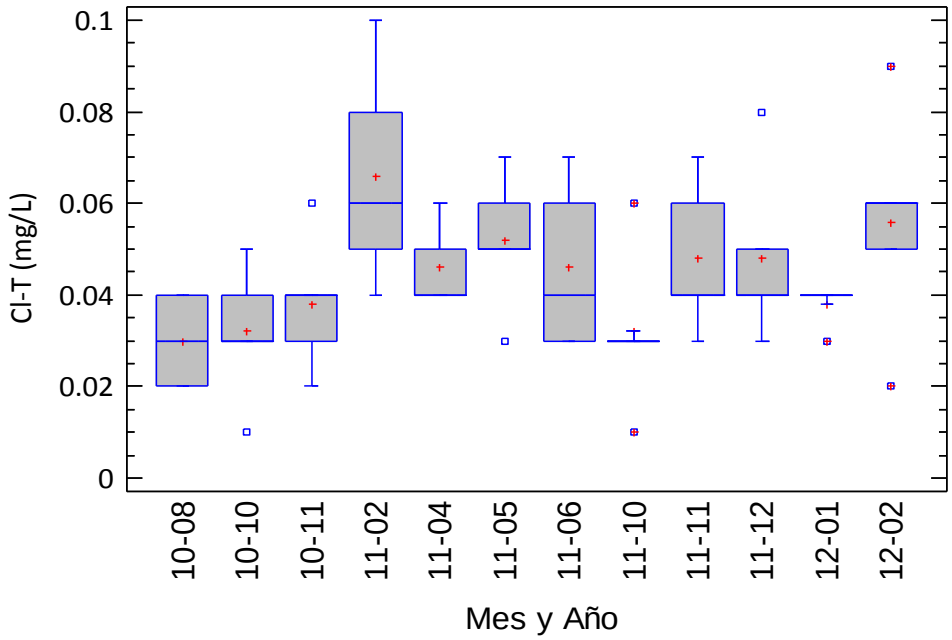

Figura 49. Variación mensual del cloro total en la Laguna de Coyuca.

Con respecto al análisis multivariado, se observó una fuerte correlación positiva entre las variables DBO5-DQO (r_s= 0.5956); pH-alcalinidad (r_s= 0.7513) y NT-NH3 (r_s= 0.5103). En el Anexo 4, se muestran los pares de variables que se asociaron de un modo obtenidos a partir de la prueba correlación por rango Spearman (r_s >0.5 y p≤0.05). En este caso se consideraron coeficientes de correlación significativos aquellos con r_s ≥0.50 y p≤0.05.

El análisis de componentes principales realizado sobre las 22 variables físicas, químicas y biológicas presentó una variabilidad acumulada del 73.2% en los dos primeros componentes (Figura 50), proporción relativamente elevada considerando que lo ideal es un mínimo del 60% de variabilidad acumulada para que los eventos puedan ser explicados en los dos primeros componentes (Peña, 2002). El primer componente obtenido explica el mayor porcentaje de varianza (52.8%), mientras que el segundo componente el 20.4% (Anexo 5). De esta manera, dichos factores son elementos de síntesis para ayudar a la interpretación de los principales procesos que controlan la dinámica espacio-temporal de la Laguna.

Las variables asociadas al primer componente y sus cargas de contribución son la alcalinidad (-0.291264), el pH (-0.285827), el fósforo (0.282237), la *E. coli* (0.280318), que representan la variación en la capacidad de amortiguamiento y la variación en el pH, así como la influencia de descargas e infiltración de contaminantes en la Laguna. En el segundo componente las variables con los coeficientes más altos corresponde a los coliformes totales (0.421544), oxígeno disuelto (0.39435) y sólidos totales (-0.438377). Las diferencias en la varianza asociada con el primero y segundo componente ilustran la importancia del sustrato geológico, los factores externos (lluvias, vientos, actividades productivas y turísticas), así como los procesos internos de resuspensión en la Laguna (material orgánico, mineralización, producción primaria).

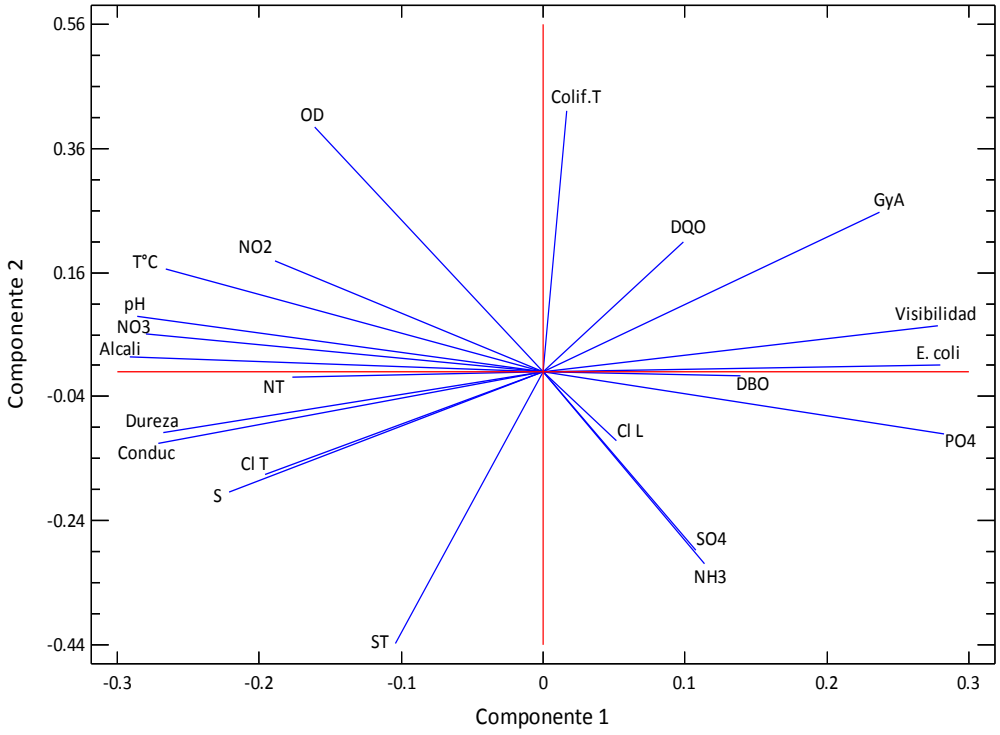

Figura 50. Gráfico de dispersión de las cargas de los componentes principales.

El análisis de conglomerados, con base en las variables de mayor contribución en componentes principales, explica algunas diferencias en la química del agua en el tiempo y espacio dentro de la Laguna. La Figura 51, muestra la formación de dos conglomerados en la Laguna, de acuerdo con las variaciones en las características físicas, químicas y biológicas presentadas durante el estudio. La primera etapa aglomeró al Canal de la Laguna y El Embarcadero como los sitios con mayor similitud (d=2.26886), predominando entre ellos las bajas concentraciones de los parámetros NT, PO_4, coliformes totales y *E. coli*. También, destacaron como altas concentraciones la dureza y la alcalinidad. En una segunda etapa, se combinaron los sitios Barra-Río Coyuca y La Estación (d=5.15584), entre las variables observadas prevalecieron las bajas concentraciones de DQO, coliformes totales y *E. coli*, así como altas concentraciones de PO_4. La tercera etapa relacionó al grupo combinado de la etapa 1 (Canal de la Laguna-El Embarcadero) con el sitio Pie de la Cuesta-ZT (d=8.13576), constituyendo el primer conglomerado en el que nuevamente preponderan las bajas concentraciones de NT, PO_4 y *E. coli*. Finalmente, la cuarta etapa unió al grupo combinado de la etapa 2 con el grupo combinado de la etapa 3 (d=13.0661), formando el segundo conglomerado, el cual tiene como características sobresalientes las bajas concentraciones de *E. coli* y altas concentraciones de Cl-L.

En el transcurso del periodo de estudio, los valores máximos se localizaron en los meses de octubre a febrero con un descenso paulatino hasta el mes de agosto, mostrando una estrecha relación con la dinámica de llenado y drenaje del cuerpo de agua, así como, de una variación estacional (temporada de secas, octubre-mayo; temporada de lluvias, junio-septiembre). De acuerdo al POET (2009) y a los recorridos de reconocimiento en campo se determinó que las fuentes de contaminación de origen antrópico más comunes observadas en el municipio de Coyuca de Benítez son, la contaminación del agua por descargas o infiltración de aguas residuales de origen doméstico y el manejo y disposición

inadecuada de residuos peligrosos de origen hospitalario, así como de envases y otros materiales relacionados con el manejo de productos utilizados en el mantenimiento de vehículos automotores y embarcaciones. Las principales fuentes de contaminación por aguas residuales que inciden en la Laguna de Coyuca son las provenientes de las localidades urbanas Bajos del Ejido, El Conchero, El Pedregoso, El Embarcadero y Pie de la Cuesta. También se ha detectado la presencia de agroquímicos procedentes de la zona agrícola. Como evidencia clara de la presencia de dichos contaminantes es la proliferación de lirio acuático y carrizo en los márgenes de la Laguna.

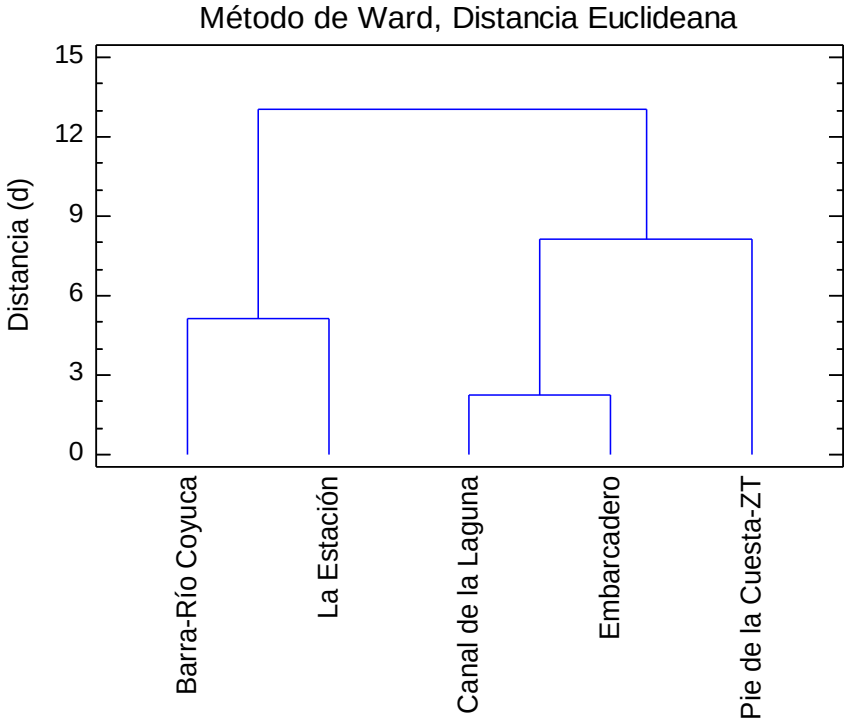

Figura 51. Dendograma de agrupamiento de los sitios que comparten mayor similitud entre sus variables.

VIII.4. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Los resultados del Índice de Calidad del Agua General (ICA-G) sitúa a la Laguna de Coyuca en una categoría o escala de clasificación de *mediana calidad*, siendo *61.9 %* el valor obtenido del índice totalizado por la fórmula de agregación, característica que define la calidad final del agua (Cuadro 8). De acuerdo a este índice, los pesos de las variables no evaluadas en este trabajo (cambio de temperatura, turbidez y sólidos disueltos totales), se distribuyeron entre el resto de las variables (Anexo 6) (NSF, 2006).

De los doce meses de estudio, los de agosto y noviembre de 2010 presentaron un valor cuantitativo de 72.3 % y 69.6 % respectivamente, lo que corresponde a una condición cualitativa de *buena calidad*. En estos casos es posible utilizarla en la mayoría de los cultivos, dudoso el consumo humano sin purificación, pesca con posibles riesgos de salud, uso recreativo con precaución si se ingiere, dada la posibilidad de presencia de bacterias. Como agua de uso industrial no requiere tratamiento para la mayoría de industrias de operación normal (Cuadro 5).

Cuadro 8. Clasificación del ICA-NSF del agua de la Laguna de Coyuca.

	Clasificación del ICA-NSF			
	Variables		Valor cuantitativo en la escala de calidad (%)	Valor cualitativo en la escala de calidad
Laguna de Coyuca	Mes-Año	Agosto 2010	72.3	Buena
		Octubre 2010	62.6	Media
		Noviembre 2010	69.6	Buena
		Febrero 2011	63.4	Media
		Abril 2011	62.6	Media
		Mayo 2011	59.4	Media
		Junio 2011	58.1	Media
		Octubre 2011	66.0	Media
		Noviembre 2011	62.4	Media
		Diciembre 2011	62.1	Media
		Enero 2012	56.3	Media
		Febrero 2012	53.6	Media
	Sitio	El Embarcadero	64.2	Media
		Canal de la Laguna	60.1	Media
		La Estación	57.9	Media
		Barra-Río Coyuca	59.2	Media
		Pie de la Cuesta-ZT	63.0	Media
	ICA-G		**61.9**	**Media**

De acuerdo a la escala de clasificación del ICA-G el uso recomendable que se le puede brindar al cuerpo de agua en estudio con un valor en la escala de calidad media es: como agua potable es necesario un tratamiento potabilizador; su uso en riego agrícola requiere un tratamiento previo para la mayoría de los cultivos; la pesca puede ser insegura, las especies sensibles a las bajas concentraciones de oxígeno pueden verse limitadas; el uso recreativo con contacto directo es limitado dada la posibilidad de presencia de bacterias y, como agua de uso industrial, requiere tratamiento para la mayoría de los usos. Existen signos de contaminación, como aumento en la concentración de nutrimentos y materia orgánica principalmente en las zonas que interactúan con el mar (Figura 36 y 52). Posible reducción de la diversidad de los organismos acuáticos y desequilibrio en el crecimiento de algas y vegetación acuática fundamentalmente en el margen noroeste de la Laguna y el Canal (Cuadro 5, Anexo 7).

Se observó que las variables de coliformes fecales (*E. coli*) y la DBO5, tienen una fuerte influencia sobre el índice de calidad. De esta manera, valores bajos de estos parámetros aumentan la posibilidad de obtener de mejor calidad, mientras que para valores superiores la deterioran. Los valores ligeramente elevados del contenido de coliformes totales obligan a la desinfección de las aguas para poder utilizarlas, bien como agua potable o con fines de riego de cultivos destinados al consumo humano.

El oxígeno disuelto presentó el valor de ponderación más alto en el cálculo del índice (Anexo 6), debido entre otras cosas, a que determina si en los procesos de degradación dominan los organismos aerobios o los anaerobios, lo que marca la capacidad del agua para llevar a cabo procesos de autopurificación. La mayoría de las especies acuáticas toleran una concentración baja de oxígeno disuelto por cierto período de tiempo. Sin embargo, reducciones por debajo del 55% de saturación

generan efectos negativos sobre la biodiversidad, el crecimiento, la reproducción y la actividad de éstos. Además, si su concentración es muy baja contribuye a que los organismos sean más susceptibles al envenenamiento con metales pesados y plaguicidas (Gaunt y Barker, 2000). También, concentraciones superiores a 100% de saturación de OD resultan peligrosas para la vida acuática, pues facilitan que burbujas de oxígeno bloqueen el flujo sanguíneo (Chapman 1996).

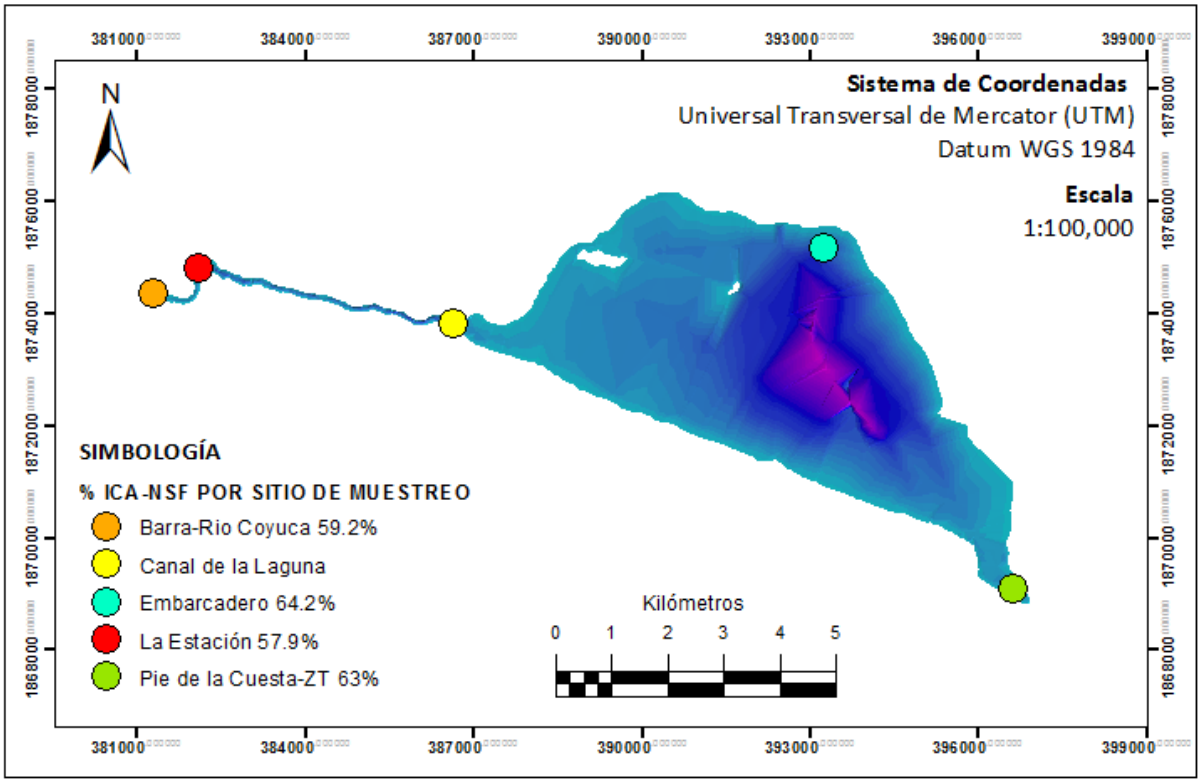

Figura 52. Índice de calidad del agua por sitio de muestreo en la Laguna de Coyuca.

La importancia de considerar a los nutrientes en el índice de calidad del agua se debe a que sus concentraciones sirven de criterio para reconocer un problema de eutrofización de lagos, lagunas o ríos y para definir el estado eutrófico de un cuerpo de agua.

No se encontraron reportes oficiales anteriores sobre calidad del agua en la Laguna de Coyuca. Los registros que se tienen son a nivel regional por parte de la Red Nacional de Monitoreo operada por la CONAGUA, quien a ubicado estaciones de motitoreo de la calidad del agua en zonas costeras con alta influencia antropogénica como es el Puerto de Acapulco, cuya evaluación se lleva a cabo utilizando tres indicadores: DBO5, DQO y los sólidos suspendidos totales (SST).

Los criterios de calidad del agua son necesarios para garantizar la existencia de un recurso de calidad, apropiado para cada proceso de consumo concreto. Por ello, es recomendable incluir en la legislación algún índice que pueda utilizarse como medio administrativo para lograr y mantener sus propiedades para el mayor número de usuarios posibles de los cuerpos de agua. Cabe mencionar que si bien el uso del concepto calidad del agua podría parecer reducido, para un análisis integral de la problemática ambiental de los ecosistemas acuáticos, representa un indicador eje ya que muestra o evidencia, tanto

lo que sucede en su entorno cercano como lo que ocurre cuenca arriba (INE-SEMARNAP, 2000), además de que puede complementarse con la interpretación puntual de parámetros específicos de acuerdo a casos particulares.

VIII.5. GEOVISUALIZACIÓN

La integración del modelo tridimensional del terreno, la batimetría y las bases de datos digitales de calidad del agua se realizó en un modelo ArcScene, a partir del cual se elaboró un video. En él se destacan las escalas de clasificación del paisaje y los atributos que lo definieron, los aspectos relevantes del modelo batimétrico, así como la presentación de algunos de los parámetros determinantes en la Laguna y en el índice de calidad del agua.

IX. CONCLUSIONES

La clasificación de paisaje definió a la clase Lomeríos como la más preponderante en la Subcuenca Bahía de Acapulco, seguida de la Planicie costera y una pequeña porción de Sierra.

Las subclases en orden de dominio son las áreas conservadas, áreas con degradación aparente, áreas de aprovechamiento, cuerpos de agua y por último las zonas inundables.

Se delimitaron 26 unidades de paisaje, siendo las más relevantes el manglar, las áreas de manejo agropecuario y urbano, así como, las áreas de vegetación natural y los cuerpos de agua, por su valor ecológico y económico.

El análisis morfométrico determinó un área y volumen aproximado de 3,158.9 ha y 199 hm^3 respectivamente. El fondo lagunar se compone de una zona profunda y otra somera, con una profundidad promedio de 6.7 m.

Los estudios realizados en la Laguna mostraron elevadas concentraciones en los parámetros DBO5, DQO, grasas y aceites, sulfatos, dureza, coliformes totales y *E. coli*, principalmente en la temporada de secas (octubre-mayo).

Los parámetros que sobrepasan los límites máximos establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 son la DBO y las grasas y aceites.

El análisis de componentes principales reveló que el sistema amortiguador de la Laguna, los nutrimentos y la concentración de bacterias coliformes son los principales elementos de síntesis que ayudan a la interpretación de los principales procesos que controlan la dinámica espacio-temporal de la Laguna.

La agrupación de los factores mostró que el primer conglomerado conformado por los sitios Canal de la Laguna, El Embarcadero y Pie de la Cuesta-ZT se caracteriza por presentar elevadas concentraciones de dureza y alcalinidad. El segundo conglomerado integrado por los sitios La Estación y la Barra-Río Coyuca, se definen por elevadas concentraciones de PO_4.

El cálculo del índice de calidad del agua (ICA-NSF) situa a la Laguna de Coyuca de Benítez, en una escala de clasificación de mediana calidad, siendo 61.9 % el valor obtenido del índice totalizado por la fórmula de agregación. El ICA-G recomienda el uso del agua de la Laguna para la agricultura, el consumo humano requiere purificación, la pesca y el uso recreativo con contacto directo es limitada dada la presencia de bacterias coliformes.

X. RECOMENDACIONES

- Preservar y reproducir los ecosistemas forestales para la captación y recarga de los mantos acuiferos de la Subcuenca Bahía de Acapulco.
- Identificación y definiciones de las zonas de protección de los recursos hídricos.
- Adopción de sistemas de drenaje y tratamiento de aguas residuales ecológicos como los humedales artificiales en pequeñas poblaciones como la Barra de Coyuca, Los Mogotes, La Estación, etc.
- Detección de las descargas de aguas residuales puntuales y difusas alrededor de la Laguna.
- Elaborar y poner en práctica sistemas de monitoreo del agua con una definición previa de indicadores, parámetros, límites de tolerancia, frecuencia y puntos de muestreo, que permitan salvaguardar el recurso.

XI. LITERATURA CITADA

Abarca, F. J. 2007. Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. *En:* Óscar Sánchez, Mónica Herzig, Eduardo Peters, Roberto Márquez-Huitzil y Luis Zambrano. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat)**.** México. 2007;113-144.

Aguirre, G. R. 2001. Caracterización óptica de la laguna costera de Coyuca de Benítez. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 46, 2001. 78-97 pp.

Alcocer. 2002. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Almazán, R. C. N., Puebla, F. O. y Almazán, Á. J. 2009. Diversidad de aves en bosques de pino-encino del centro de guerrero, México. *Acta Zoológica Mexicana 25(1): 123-142.*

APHA. American Public Health Association. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Nueva York.

Arce, V. A. L., Calderón, M. C. G. y Tomasini, O. A. C. 2001. Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales. CONAGUA.

Avnimelech, Y., Lecher, M., Raven, A y Zur, O. (1981). A method for the evaluation of conditions in fish pond sediment. Aquaculture 23:361-365.

Ayala, C. A. 1966. Algunos estudios de geología marina en lagunas litorales mexicanas y su posible proyección al Océano Pacífico en los países latinoamericanos. Seminario Latinoamericano sobre el Océano Pacífico, Lima, Perú.

Ayuntamiento de Castellnovo. 2008. Estudio de Paisaje. Plan General de Ordenación Urbanade Castellnovo (castellón). España.

Babor. 1996. Química general. Editorial Limusa.

Bailey, J. E. y Ollis, D. F. 1986. Biochemical Engineering Fundamentals. 2nd edition, McGraw-Hill, New York.

Becerra, P. M., Sáinz, S. J. y Muñoz, P. C. 2006. Los conflictos por agua en México. Diagnóstico y análisis. En publicacion: Gestión y Política Pública, vol. XV, no. 1. CIDE, Centro de Investigación y Docencia Económica, México. Extraido el 12 de septiembre de 2011 en: http://www.gestionypoliticapublica.cide.edu/num_anteriores/Vol.XV_No.I_1ersem/04Becerra.pdz

Bocco G., Mendoza M., Velásquez A. y Torres A. 1999. La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica de México. El caso de Michoacán de Ocampo. *Investigaciones Geográficas 40*: 7-22.

Bocco, G. 2000. El Desarrollo de Sistemas de Información Geográfica en la Frontera Norte de México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 42: 40-47.

Broecker, W.S. 1974. Chemical oceanography. Hartcout Brace J. Inc. 214 pp.

Bunce, R. G. H., Barr, C. J., Clarke, R. T., Howard, D. C., Lane, A. M. J. 1996. Land classification for strategic ecological survey. Journal of Environmental Management 47, 37-60.

Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B. y Velázquez, O. 2009. Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.

Capone, D. G. 1991. Aspects of the marine nitrogen cycle with relevance to the dynamics of nitrous and nitric oxide. In *Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases: Methane, Nitrogen Oxides, and Halomethanes* (Eds Rogers, J. E. and Whitman, W. B.), American Society for Microbiology, Washington DC, 1991, 255-275 pp.

Carabias, J. 2005. Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México, UNAM-COLMEX-Fundación Gonzalo Río Arronte, México. 6 pp.

Carrillo-Cano, B. A., González, R. S. y Namihira, S. P. E. 1996. "Caracterización granulométrica de la zona de la desembocadura de la laguna de Coyuca, Gro, durante la temporada de secas en 1989", Res. I Encuentro Regional de Investigación y Desarrollo Sustentable: Guerrero, Oaxaca y Chiapas. 32 pp.

Cartró, J. 2003 Tratamiento de aguas industriales. Depuración biológica de las aguas residuales, Ed. Fundación Universitaria Iberoamericana –Universidad de Catalunya, Barcelona.

CE-CCA-001/89. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (*D.O.F. 2 Diciembre de 1989*).

Chapman, D. 1992. Water quality assessments. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme, E & FN Spon, Londres.

Chapman, D. 1996. Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. E& FN Spon, Londres, Inglaterra. 626 pp.

Chapman, D. y Kimtsach, V. 1992. Selection of water quality variables. En: D. Chapman (Ed.). Water quality assessments. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme, E & FN Spon, Londres. 59-126 pp.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2008. Distribución de los manglares de México. Escala 1:50 000. Extraído del proyecto DQ056: Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo, primera etapa. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Distrito Federal, México. El proyecto fue financiado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

CONAGUA. 2007. Marco Conceptual de Referencia. La Cuenca Hidrografica como Territorio Para la Gestion Integral del Agua. Consultado el 30 de Mayo de 2011 de http://www.conagua.gob.mx/ocavm/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=510b0111-d204-4734-957aa14f8064598c%7CConsejos%20de%20Cuenca%7C0%7C5%7C0%7C0%7C0.

CONAGUA. 2010. Atlas digital del agua México 2010. Consultado el 11 de octubre de 2010: http://www.conagua.gob.mx/atlas/

CONAGUA. 2011. Estadísticas del agua en México, edición 2011. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Consejal, L. A. 2007. Geovisualización: La superficie del SIG. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, Madrid, España.

Contreras, E. F. 2002. Los humedales costeros mexicanos. Capítulo 4. En: F. J. Abarca y M. Herzig (eds.). *Manual para el manejo y la conservación de los humedales de México*. Tercera Edición. Publicación especial bajo colaboración de la Dirección General de Vida Silvestre-SEMARNAT, Arizona Game and Fish Department, North American Wetland Conservation Act, U.S. Fish and Wildlife Service, Convencion Ramsar, U.S. State Department, Ducks Unlimited of Mexico-A.C.,

Pronatura Noreste, Canadian Wildlife Service y Society of Wetlands Scientists. Phoenix, Arizona, EE.UU.

Contreras, F. 2000. Las lagunas costeras mexicanas y su importancia para la biodiversidad. México 2: (1): 20- 128.

Contreras, F. y Castañeda, O. 2004. La biodiversidad de las lagunas costeras. Universidad Nacional Autónoma de México. Revista Ciencias, 76. Pp. 46-56.

Contreras, F., Castañeda, L. O., Barba-Macías, E. y Pérez, H. M. A. 2002. Caracterización e importancia de las lagunas costeras. En: INP/ U. Ver. (eds.). La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo. CRIP/INP/SAC, ARPA/ U. Veracruzana, México. 31-43 pp.

Contreras-Espinosa, F. 1993. Ecosistemas costeros mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F., 415 pp.

Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A. y Newroth, P. R. 1993. Restoration and management of lakes and reservoirs. Second Edition. Lewis Publishers. Boca Ratón, 548 pp.

Coronel, C., Rosales, E., Mora, F., López-Caloca, A. A., Tapia, S. F. O., Hernandez, G. 2008. Monitoring evapotranspiration at the landscape scale in Mexico: applying the energy balance model using remote sensing data. Proceedings of SPIE Europe Remote Sensing. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology.

Correa, R. G. 2008. Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del Municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia. Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Cruz, M. A. 2009. La Barra de Coyuca. Consultado el 16 de mayo de 2012: http://labarradecoyuca.blogspot.mx/2009/09/apertura-de-la-barra.html

Cuanalo, H. 1977. El levantamiento fisiográfico de la República Mexicana y su utilización para la planificación del desarrollo rural. Proyecto de Investigación: Chapingo, México, Colegio de Postgraduados.

De la Lanza- Espino, G. y U. Arenas, 1986. Disponibilidad de nutrimentos a partir de materia orgánica en un sistema lagunar. Ciencia 37 (4): 247-256.

De La Lanza, E. G. 1984. Calidad Ambiental de la Laguna de Mezcaltitán, Nayarit, México, durante el estiaje - Nota Científica. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología, Laboratorio de Química y Productividad Acuáticas, México, D. F.

De La Lanza, E. G., Alcocer-Durand, J., Moreno-Ruiz, J. L. y Hernández-Pulido, S. P. 2008. Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos Guerrero, México. Hidrobiológica 18 (1): 21-30.

De la Lanza-Espino, G. 1998. Aspectos fisicoquímicos que determinan la calidad del agua. En: Martínez Córdova L.R. (Ed). Ecología de los Sistemas Acuícolas. AGT EDITOR, S.A. México 1998; 4-24 pp.

Delgadillo, E. 1986. Evaluación de la materia orgánica particulada en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, durante el ciclo otoño 1983 verano 1984 y su relación con percepción remota. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Díaz-Aguirre, M. E., Vega-López, C., Savournín-Rodríguez, D., Alvarez- Rodríguez, A., Díaz, R., García-López, L., García-Villena, G., Vega-Cabrera, M. y Noda-Rodríguez, R. 1997. Sistemas

automatizados para la adquisición y procesamiento de datos hidrográficos (HIDROSAD-HIDROCAP), *Boletín SELPER-México*, 38:28-40.

DUMAC- Ducks Unlimited de México A. C. 2007. Estrategia de Manejo para Laguna La Nacha, TAMPS. North American Wetlands Conservation Council.

Dunn, M. 1974. Landscape Evaluation Techniques: An appraisal and review of the literature. Centre of Urban andRegional Studies, University of Birminghan.

Duque-Escobar, G. 2003. Manual de geología para ingenieros. Cap. 20. Geomorfología. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. (Rev. 2013).

Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). 2003. Tutorial Analysis Spatial ArcView 8.2. Edit An ESRI. CA, USA.

Fernández, N., Ramírez, A. y Solano, F. 2003. Índices de Fisicoquímicos de Calidad de Agua- Un Estudio Comparativo. Vicerrectoría de Investigaciones. Universidad de Pamplona. En: Memorias Conferencia Internacional Agua, 2003.

Fuentes, F. y Massol, D. A. 2002. Manual de Laboratorios. Ecología de Microorganismos. Universidad de Puerto Rico.

García, E. - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998). 'Climas' (clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México.

García, E. - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998a. 'Temperatura máxima promedio'. Escala 1:1000000.México

García, E. - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998b. 'Temperatura mínima promedio'. Escala 1:1000000.México

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), offset Larios, 4ª ed., México.

Garrels, R. M. y Christ, C. L. 1965. Solutions, minerals and equilibrium. Harper & Row. Nueva York.

Gaunt, P. y Barker, S. 2000. Matrix solid phase dispersion extraction of triazines from catfish tissues; examination of the effects of temperature and dissolved oxygen on the toxicity of atrazine. International Journal of Environment and Pollution 13: 284-312.

Geissert, D. 1999. Regionalización geomorfológica del estado de Veracruz. *Investigaciones Geográficas 40*: 23-47.

Gochis, D. J., Watts, C. J., Garatuza-Payan, J. y Rodriguez, J. C. 2007. Spatial and Temporal Patterns of Precipitation Intensity as Observed by the NAME Event Rain Gauge Network from 2002 to 2004. Journal of Climate 20-9: 1734–1750.

González, B. F. 1981. Ecología y paisaje, Blume, Madrid.

González, I. 2006. Establecimiento y Determinación de Índices de Calidad del Agua. Enfoque Basado en Lógica difusa. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería de Sistemas. Departamento de Investigación de Operaciones. 133 pp.

Graniel, C. E., Pacheco, M. A. y Coronado, P. V. 2009. Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. Ingeniería 13-1 (2009) 49-58

Grau, R. y Sala, M. 1982. La Geomorfología en sus tratados y manuales: un esquema histórico de la disciplina (1870-1982). Revista de Geografía. Vol. XVI.

Guzmán, M. y Rojas, G. 1976. Ecología de las lagunas costeras (Coyuca de Benítez). Curso de Biología de Campo, Facultad de Ciencias, UNAM. México.

HACH. 1999. Analytical Procedures. Method 10029, Coliforms: Membrane Filtration (simultaneous detection). Hach Company, 2ed., U.S.A. 1-10 pp.

HACH. 2006. Digital Titrator, Model 16900. Hach Company, 24 ed., U.S. 196 pp.

HACH. 2009. DR/890, Colorimeter, Procedures Manual. Hach Company, 9 ed., U.S.A. 614 pp.

Henderson-Sellers, A., y Gornitz, V. 1984. Possible climatic impacts of land cover transformations, with particular emphasis on tropical deforestation. *Climatic Change*. 6: 231-257.

Ibarra, P. 1993. Naturaleza y hombre en el Sur del Campo de Gibraltar: um análisis paisajístico integrado, Ed. Junta de Andalucía, Agencia de Medio Ambiente Sevilla.

INEGI, 2009a. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación. Escala 1:250,000, Serie III. México, 38-40 pp.

INEGI. 2001. Base de Datos Geográficos. Diccionario de Datos Edafológicos (alfanumérico).

INEGI. 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Coyuca de Benítez, Guerrero. Clave geoestadística 12021.

INE-SEMARNAP. 2000. La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México, 1ª edición.

INIFAP-CONABIO. 1995. Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995). 'Edafología'. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México.

Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1963. Investigaciones de los recursos hídricos como una ayuda al desarrollo económico. Comisión de Cartografía. Publicación Número 209. Buenos Aires, 43 pp.

Jairo, A. 2002. Calidad del agua. Editorial Alfa Omega. 2a edición.

Jiménez B. y Marín L. 2005. El agua en México vista desde la Academia. Academia Mexicana de Ciencias. México. 11-13 pp.

Kennish, M. J. 2000. Estuary restoration and maintenance. The National Estuary Program. CRC Press, Boca Raton, EU. 359 pp.

Kevern, N. R., Elliot, R. F., Flaherty, M. J., Jennings, H. E. y Zafft, D. J. 1989. A limnological survey of Paradise Lake, Emmett and Cheboygan counties. Department of Fisheries and Wildlife, Michigan State University.

Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoon processes. Elsevier Oceanography Series, 60. 577 pp.

Klimek, R. 1978. Hidroquímica y productividad primaria de tres lagunas costeras del Pacífico. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Lankford, R. R. 1977. Coastal lagoon of Mexico. Their origin and classification. En: M. Wiley, (ed.). Estuarine Processes. Academic Press Ine., 182-215 pp.

Lemos, P. A., , A. Z., Guerrero, C. R., Cruz, G. y Gutierrez, T. 1978. Datos para el conocimiento de la hidrobiología de la laguna de Tres Palos, Guerrero (México). Res. VI Cong. Nal. Oceanogr. 87 pp.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Últimas Reformas DOF 28-01-2011.

Margalef, R. 1969. Comunidades planctónicas en lagunas litorales. En Ayala-Castañares, A. y Phleger, F. B. (eds.) Lagunas costeras. Un Simposio. Mem. Simposio Internacional de Lagunas Costeras, UNAMUNESCO, 28 y 30 de noviembre, México, D.F. 545-562 pp.

Margalef, R. 1983. Limnología. Ed. Omega. España. 1010 pp.

Metcalf y Eddy. 1985. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Ingeniería sanitaria. McGraw Hill. Madrid.

Monreal, A. 1991. Evaluación de la concentración de clorofila a fitoplanctónica en la Laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, durante el ciclo estacional verano 1983 verano 1984 y su relación con técnicas de percepción remota. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Montoya, M., Contreras, C. y García, V. 1997. Estudio Integral de la Calidad del Agua en el Estado de Jalisco. CONAGUA. Reg. Lerma-Santiago, Guadalajara. 106 pp.

Mora, S., Cuevas-Fernández, M. L., Aguilar-Sierra, V. y Aguilar, E.. 2009. Criterios para la selección del sitio de manglar Coyuca – Mitla. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.

Naú, S. N. G. y Niño, N. 2009. Análisis Territorial Aplicado a la Colonia Luces del Mar, Guerrero, México. Universidad Autónoma de Guerrero. Revista de Planeamiento territorial y Urbanismo Iberoamericano.

Naveh, Z. y Lieberman, A. S. 1993. Landscape Ecology Theory and Application. Springer Verlag. USA.

Nixon, S. W. 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. Ophelia, 41: 199-219.

Norma Oficial Mexicana. NMX-AA-005-SCFI-2000. Análisis de agua. Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.

Norma Oficial Mexicana. NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas.

Norma Oficial Mexicana. NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Oficial Mexicana. NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Norma Oficial Mexicana. NMX-AA-42-1987. Calidad del agua. Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva.

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 (D.O.F. 6 enero 1997).

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

NSF-National Sanitation Fundation. 2006, Consumer Information: Water Quality Index (WQI), 2006. Consultada el 3 de noviembre de 2010: www. nsf.org/consumer/just_for_kids/wqi.asp.

OMS. Organización Mundial de la Salud. 2006. Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice. Vol. 1, Tercera edición, 398 pp.

Ortiz, P. M. A. y Oropeza, O. O. 2010. Regionalización geomorfológica. En: Mendoza C. A., Cram, H. S., Pérez, D. J. L., Sommer, C. I. y Oropeza, O. O. 2010. Atlas regional de impactos derivados de las actividades petroleras en Coatzacoalcos Veracruz. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) e Instituto de Geografía (UNAM), México, D. F., 31-34 pp.

Ott, W. 1978. Water quality index: a survey of indexes used in the United States. Environmental Monitoring Series. EPA-600/4-78-005.128 pp.

Panizza M. 1996. Environmental Geomorphology. Developments in Earth Surface Processes 4, Elsevier, 268 pp.

Peña, D. 2002. Análisis de datos multivariantes. McGraw-Hill/Interamericana de España.

Pérez, G. C. y Rodríguez, A. 2008. Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1-14 pp.

Petroni, R. V. 2005. Hidraulica merítima y de estuarios. Ed. Dunken. Argentina. 445-446 pp.

POET. 2009. Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Municipio de Coyuca de Benítez, Guerrero. Gobierno Municipal Constitucional de Coyuca de Benítez. Consultado el 7 de septiembre de 2010: http://www.guerrero.gob.mx/?P=readart&ArtOrder =ReadArt&Article=11307.

Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012. Agenda Azul: Gestión integral de los recursos hídricos. México. 79-709 pp.

PROY-NMX-AA-005-SCFI-2008. Análisis de agua. Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-005-SCFI-2000).

PROY-NMX-AA-042-SCFI-2005. Calidad del Agua. Determinación del Número más Probable (NMP) de Coliformes Totales, Coliformes Fecales (Termotolerantes) y Escherichia coli Presuntiva (cancelará a la NMX-AA-042-1987).

Quiñones, H. 1987. El sistema fisiográfico de la dirección general de geografía. Revista de Geografía 1(2): 13-20.

Ramos, J-A, Noyola, C. y Tapia, S. F-O. 2010. Aquifer Vulnerability and Groundwater Quality in Mega Cities: Case Mexico Basin. Consultado el 4 febrero de 2010 en: Environmental Earth Sciences, DOI: 10.1007/s12665-009-0434-5.

Rawson, D. S. 1955. Morphometry as a dominant factor in the productivity of large lakes. Verh. Int. Ver. Limnol. 12: 164-175.

Robles, V. E., Ramírez, F. E., Gallegos, N. E., Ibarra, M. R., Ramírez, G. P., Duran, D. A., Martínez, R. B. y Saínz, M. M. G. 2000. Laguna Negra (Puerto Marqués), Refugio Florístico y Faunístico en Riesgo de Extinción. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. División de Investigación y Posgrado. Presentado en: Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, 12, Morelia, 21-24 mar. 2000.

Romero, R. J. A. 1999. Calidad del agua. 2ª edición, editorial Alfaomega. México. 61-146 pp.

Ryder, R. A. 1965. A method for estimating the potential fish production of north-temperate lakes. Transactions of the American Fisheries Society. 94: 214-218.

Samboni, R. N. E., Carvajal, E. y Escobar, J. C. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación. Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia. 172-181 pp.

Santiago, A. 1997. La Preservación del Ambiente. El hombre y la enseñanza de la Geografía. Revista Geoenseñanza. V.2, 23-40.

Santiago, I. 2005. Fundamentos de ArcGIS versión ArcView 9.1. Tutorial de lecturas. Área de Tecnologías de Información Gubernamental.

Santos, A., H. Cuanalo y C. A. Ortíz. 1985-86. Metodología de regionalización natural para grandes territorios, basada en el concepto de paisaje. El caso de México. Revista de Geografía Agrícola 9-10: 14-24.

SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1992. 'Inventario Nacional de Gran Visión, 1991-1992; uso de suelo y vegetación'. Escala 1:1000000. Subsecretaria Forestal y de la Fauna Silvestre, SARH, México.

Secretaría de Marina. 1974. Compendio de hidrografía, segunda parte. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo. México, D.F., 242 pp.

Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales. Gestión 2000-2006. Situación Ambiental de la zona costera y marina, en particular humedales costeros y manglares. CIIDIR -Unidad Sinaloa.

SEMARNAT/DGRMIS, 2004. Lineamientos para el Desarrollo de una Estrategia Nacional para la Implementación de Planes de Manejo de la Zona Costera y Marina en los Ámbitos Nacional, Regional, Estatal y Municipal. 150 pp.

Stumm, W. y Morgan, J. J. 1980. Aquaticchemistry. Jonh Wiley & Sons. Nueva York. 2ª edition.

Sugiyama, M. y Kwai, A. 1979. Microbiological studies on the nitrogen cycle in aquatic environments VI. Metabolic rate of ammonium nitrogen in a goldfi sh culturing pond. Bulletin of The Japanese Society of Scientifi c Fisheries 45 (6):785-789.

Tapia, S. F. O., Mora, F. y Nuñez, J. M. 2007. Characterization of tropical River Basins in Mexico and Central America by remote sensing and hydrological spatial analysis. Proceedings 32nd International Symposium on Remote Sensing of Environment, San José Costa Rica.

Tapia, S. F.O. y Mora, F. 2004. The application of spatial analysis in the implementation of a qualitative infiltration model to evaluate the aquifer's potential recharge for conservation areas of Mexico City. Proceedings of the 19th International CODATA Conference. The Information Society: New Horizons for Science. Berlin, Germany.

Tapia-González, F. U., Herrera-Silveira, J. A., Aguirre-Macedo, M. L. 2008. Water quality variability and eutrophic trends in karstic tropical coastal lagoons of the Yucatán Peninsula. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76:418-430.

Thurston, R. V., Russo, R. C., Felterof, Jr. C. M., Edsall, T. A. y Barber, Jr. Y. M. 1979. A review of the EPA red Book: Qualitycriteria for Water. Water Quality Section, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 313 pp.

Tkach, R. J. y Simonovic, S. P. 1997. A new approach to multi-criteria decision making in water resources. Journal of Geographic Information and Decision Analysis 1(1): 25-43.

Torres, A. M. del R., Fernández, P. F., Barriga, S. I. y Ramirez, V. F. 2006. Dinámica de las bacterias anaeróbicas en las fases terminales de la mineralización de la materia orgánica en el sedimento de los ecosistemas Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola. *Hidrobiológica 16* (1): 183-196.

Tovilla-Hernández, C., Mora-Corro, S. A., Rojas-García, J. y Vázquez-Lule, A. D. 2009. Caracterización del sitio de manglar Coyuca – Mitla, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.

Van Zuidam, R. A. 1985. Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphological mapping. Enschede, The Netherlands: ITC.

Verstappen, H. T. 1983. Applied geomorphology; geomorphological survey for environmental development. Amsterdam: Elsevier.

Verstappen, H. T. y Van Zuidam, R. A. 1975. ITC system of geomorphological survey. Enschede, The Netherlands: ITC.

Vollenweider, R. A., Marchetti, R. y Viviani R. 1992. Marine coastal eutrophication. Elsevier Sci. Pub. 1310 pp.

Wetzel, R. G. y Likens, G. E. 1979. Limnological analysis. 4a ed., W. B. Saunders Company, Philadelphia.

WRI. World Resources Institute. 2000. Pilot analysis of global ecosystems: freshwater systems. E.U.A.

Yáñez, A. A. 1978. Patrones ecológicos y variaciones cíclicas de la estructura trófica de las comunidades nectónicas en las lagunas costeras del Pacífico mexicano. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, vol. 5, UNAM, México, 1:287-306.

Yáñez-Arancibia, A. 1977. Taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces en lagunas costeras con bocas efímeras del pacífico de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Laboratorio de Ictiología y Ecología Estuarina. Contribución 85 del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de frecuencias de los datos de profundidad

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa Acumulada
	menor o igual	-29.3		1	0.0017	1	0.0017
1	-29.3	-26.6364	-27.9682	9	0.0157	10	0.0175
2	-26.6364	-23.9727	-25.3045	11	0.0192	21	0.0366
3	-23.9727	-21.3091	-22.6409	6	0.0105	27	0.0471
4	-21.3091	-18.6455	-19.9773	7	0.0122	34	0.0593
5	-18.6455	-15.9818	-17.3136	10	0.0175	44	0.0768
6	-15.9818	-13.3182	-14.65	24	0.0419	68	0.1187
7	-13.3182	-10.6545	-11.9864	27	0.0471	95	0.1658
8	-10.6545	-7.99091	-9.32273	52	0.0908	147	0.2565
9	-7.99091	-5.32727	-6.65909	116	0.2024	263	0.459
10	-5.32727	-2.66364	-3.99545	166	0.2897	429	0.7487
11	-2.66364	0.0	-1.33182	144	0.2513	573	1.0000
	mayor de	0.0		0	0.0000	573	1.0000

Media = -6.66579 Mediana = -4.81584 Desviación Estándar = 5.81968

Anexo 2. Laguna de Coyuca y NOMs (límites máximos permisibles).

ID	Parámetro	Laguna de Coyuca ([1]PM)	NOM-001-SEMARNAT-1996					CE-CCA-001/89[2]		
			Protección a la vida acuática	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Explotación pesquera	Recreación	Uso Recreativo Contacto Primario	Protección Vida Acuática: Agua Dulce	Protección Vida Acuática: Agua Marina
1	Profundidad (m)	2.5								
2	Transparencia (cm)	59.3								
3	pH (Unidad)	8.4	5.0-10.0	5.0-10.0	5.0-10.0	5.0-10.0	5.0-10.0			
4	Temperatura (°C)	28.9	40	40	40	40	40			
5	Conductividad (mS/cm)	2.1								
6	OD (mg/L)	5.2						5		5
7	N total (mg/L)	3	15	40	15	NA	NA			
8	NH_3	0.21							0.06	0.01
9	NO_{2^-} (mg/L)	0.05						0.002		0.002
10	NO_{3^-} (mg/L)	3.3						0.004		0.04
11	PO_4^{3-} (mg/L)	0.7	5	20	5	NA	NA	0.002		0.002
12	DBO5 (mg de O_2/L)	82.4	30	75	30	150	75			
13	DQO (mg de O_2/L)	154.6								
14	Cl-L (mg/L)	0.04							2.5	
15	Cl-T (mg/L)	0.08								
16	SO_4^{2-} (mg/L)	96.6							0.005	
17	S^- (mg/L^-)	0.04							0.002	0.002
18	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$)	89.6								
19	Dureza (mg/L de $CaCO_3$)	253.2								
20	ST (mg/L)	11.7								
21	GyA (mg/L)	29.8	15	15	15	15	15			
22	Colif. T (NMP o UFC/100 mL)	199						1,000		
23	*E. coli* (NMP o UFC/100 mL)	9						200	200	200

[1]PM= Promedio Mensual

[2] Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua (D.O.F. 13 de diciembre de 1989).

Anexo 3. Variables registradas y analizadas en la Laguna de Coyuca de Benítez, Gro.

Parámetro	Promedio por sitio					Descripción anual			
	Barra-Río Coyuca	Canal de la Laguna	El Embarcadero	La Estación	Pie de la Cuesta-ZT	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Profundidad (m)	2	3.8	2.1	1.9	2.4	2.5	0.8	1.3	4.6
Transparencia (cm)	89.4	54.8	44.6	65.7	42	59.3	33.2	20	200
pH (Unidad)	7.9	8.6	8.9	7.9	8.8	8.4	0.7	7	9.7
Temperatura (°C)	28.6	28.8	29.4	28.4	29.3	28.9	2.0	25.1	32.9
Conductividad (mS/cm)	1.7	2.4	2.3	2	2.4	2.1	0.5	1	2.9
OD (mg/L)	5.2	5.1	5.3	4.7	5.5	5.2	1.5	2.7	8.9
N total (mg/L)	2	1.9	4	3.2	3.8	3.0	3.8	0	22
$N\text{-}NH_3$ (mg/L)	0.18	0.18	0.18	0.33	0.20	0.21	0.35	0	2.27
NO_2^- (mg/L)	0.02	0.04	0.05	0.03	0.12	0.05	0.10	0	0.627
NO_3^- (mg/L)	2.6	3.2	4.2	2.8	3.8	3.3	2.4	0	11.5
PO_4^{3-} (mg/L)	1	0.6	0.5	1	0.4	0.7	0.8	0.06	3.7
Cl-L (mg/L)	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.04	0.02	0.01	0.1
Cl-T (mg/L)	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.08	0.07	0.01	0.42
GyA (mg/L)	53.3	15.3	18.3	32.1	30	29.8	38.0	3.5	253.6
DBO5 (mg de O_2/L)	82.4	80.5	72.9	88.8	87.5	82.4	33.6	28.2	162
DQO (mg de O_2/L)	167.4	150.8	119.1	153.1	182.6	154.6	65.0	31.8	333.4
SO_4^{2-} (mg/L)	78.8	85.1	76.3	146.1	96.7	96.6	70.1	17	460
S^- (mg/L·)	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0	0.1
ST (mg/L)	9.4	12.7	12.4	13.3	11.0	11.7	3.4	6	20.1
Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$)	74.5	92.3	100.3	80.5	100.2	89.6	17.6	56	124
Dureza (mg/L de $CaCO_3$)	181.8	288	274.9	231.8	289.3	253.2	101.7	54	410
Colif. T (UFC/100 mL)	305	114	88	82	407	199	504	0	2720
E. coli (UFC/100 mL)	15	8	1	14	7	9	20	0	120

Anexo 4. Matriz de correlaciones de Spearman (r_s)

r_s	Prof.	Transp.	pH	T°C	Cond.	OD	NT	NH3	NO2	NO3	PO4	Cl-T	Cl-L	GyA	DBO5	DQO	SO4	S-	ST	Alc.	Durz	Colif. T	*E. coli*
Prof.																							
Transp.	0.00																						
pH	0.11	-0.47																					
T°C	-0.05	-0.27	0.36																				
Cond.	0.25	**-0.50**	0.39	0.32																			
OD	-0.14	-0.34	0.30	0.01	0.21																		
NT	-0.03	-0.14	0.04	-0.25	-0.13	-0.08																	
NH3	0.06	0.09	-0.19	-0.35	-0.21	-0.08	**0.51**																
NO2	0.03	0.05	-0.11	-0.05	-0.21	-0.02	0.06	0.30															
NO3	-0.05	0.04	-0.03	0.03	0.05	-0.07	0.22	0.09	0.49														
PO4	-0.12	0.29	-0.10	-0.48	-0.17	-0.06	0.21	0.30	-0.23	-0.15													
Cl-T	-0.14	-0.04	0.22	-0.07	0.26	-0.01	0.05	-0.16	-0.28	0.00	0.32												
Cl-L	-0.09	-0.05	0.02	0.14	0.23	-0.18	-0.07	-0.38	-0.35	-0.11	0.07	0.38											
GyA	-0.19	0.02	0.01	-0.25	-0.37	0.05	0.06	0.11	0.07	-0.27	0.24	-0.16	-0.19										
DBO5	0.06	-0.04	-0.17	-0.23	-0.19	0.03	0.25	0.49	0.19	-0.05	0.24	-0.40	-0.22	0.35									
DQO	0.02	0.04	-0.03	0.04	-0.10	0.04	0.03	0.36	0.11	0.01	0.14	-0.12	-0.14	0.02	**0.60**								
SO4	0.01	-0.05	-0.10	-0.12	0.33	0.03	-0.03	0.03	-0.12	0.01	0.16	0.12	0.18	-0.25	-0.24	-0.14							
S	0.17	**-0.53**	0.26	0.31	0.33	0.46	-0.06	-0.15	0.21	0.08	-0.34	-0.27	-0.17	0.01	0.09	0.02	-0.06						
ST	0.16	-0.21	0.12	0.10	0.41	0.13	-0.05	-0.09	-0.21	-0.14	0.01	0.22	0.19	-0.20	-0.01	-0.04	0.05	0.13					
Alc.	0.04	**-0.53**	**0.75**	0.39	0.47	0.24	-0.01	-0.29	-0.14	-0.01	-0.28	0.31	0.17	-0.05	-0.22	-0.09	-0.04	0.31	0.27				
Durz	-0.01	-0.32	0.23	0.05	0.33	0.13	-0.02	0.01	0.07	0.06	-0.12	0.17	0.01	-0.19	-0.12	-0.13	0.06	-0.04	0.07	0.20			
Colif. T	-0.19	0.02	-0.14	0.16	0.09	-0.17	-0.16	-0.32	-0.25	-0.17	-0.35	-0.08	0.18	-0.11	-0.41	-0.35	0.02	0.03	-0.01	0.10	0.01		
E. coli	-0.23	0.07	-0.06	0.17	-0.07	-0.22	-0.02	0.01	-0.22	-0.06	0.01	0.05	0.13	-0.02	0.05	0.15	0.04	-0.19	-0.03	-0.04	-0.11	0.12	

Análisis de correlación de Rho Spearman entre las variables determinadas en la Laguna de Coyuca 2010-2012.
Números en negro indican buena correlación: nivel de significancia $r_s \geq 0.50$, $p<0.05$, N= 60.

Anexo 5. Análisis de Componentes Principales

Cálculos	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Eigenvalor	11.616	4.48871	3.82791	2.06735
Porcentaje de Varianza	52.8	20.403	17.4	9.397
Porcentaje Acumulado	52.8	73.203	90.603	100
Cargas de contribución por parámetro				
Transparencia	0.27772	0.07352	-0.14054	-0.04513
pH	**-0.28583**	0.089744	-0.05331	0.043844
Temperatura	-0.26625	0.165932	0.006433	-0.15986
Conductividad	-0.27111	-0.11512	0.02415	0.202186
OD	-0.16084	**0.39435**	-0.00889	-0.02375
NT	-0.17677	-0.00764	0.290911	-0.38899
NH3	0.113638	-0.3084	0.320387	-0.12074
NO2	-0.18909	0.177936	0.318445	0.162187
NO3	-0.27949	0.061137	0.033219	-0.18615
PO4	**0.282237**	-0.09938	-0.018	-0.11868
Cl-T	-0.19617	-0.16496	-0.29592	0.215105
Cl-L	0.051288	-0.11201	-0.30939	**0.514249**
GyA	0.237011	0.257529	0.067548	-0.12502
DBO5	0.139265	-0.00687	**0.39487**	0.293134
DQO	0.098819	0.210095	0.304202	**0.402068**
SO4	0.107749	-0.2865	**0.360203**	0.004483
S^{-}	-0.22162	-0.19316	0.253032	0.090499
ST	-0.1039	**-0.43838**	0.055677	0.007666
Alcalinidad	**-0.29126**	0.023843	0.053862	0.020849
Dureza	-0.26757	-0.09785	0.06374	0.230506
Colif. T	0.016248	**0.421544**	0.187626	0.176683
E. coli	**0.280318**	0.010978	0.106018	0.145331

Números en negro señalan las cargas más elevadas del componente en cuestión.

Anexo 6. Ponderación de los parámetros utilizados para el cálculo del ICA-NFS.

Parámetro	Factor de ponderación inicial	% que aporta al modelo	% que se le sumara al FPI	Factor de ponderación final
Oxígeno Disuelto	0.17	22.6666667	0.05666667	0.22666667
Coliformes Fecales (E. coli)	0.16	21.3333333	0.05333333	0.21333333
pH	0.11	14.6666667	0.03666667	0.14666667
DBO5	0.11	14.6666667	0.03666667	0.14666667
∆ Temperatura	0.1			
Fosforo (Ortofosfatos)	0.1	13.3333333	0.03333333	0.13333333
Nitratos	0.1	13.3333333	0.03333333	0.13333333
Turbidez	0.08			
Sólidos Disueltos Totales	0.07			
Σ total	1	100		1
Carga a ser distribuida	0.75		0.25	

FPI=Factor de ponderación inicial

Anexo 7. Calidad del agua para la vida acuática

ICA	Categoría	Descripción
86-100	Excelente	No presenta peligros para el ecosistema. Es adecuada para el desarrollo de todas las especies.
71-85	Buena	Sostiene una alta biodiversidad de vida acuática. Se presentan períodos donde algún indicador muestra peligros para el ecosistema. En este caso, si la situación no mejora en un período breve, se empezarían a ver cambios en la composición del ecosistema.
51-70	Regular	Existen signos de contaminación, como aumento en la concentración de nutrimentos. Se observa una reducción de la diversidad en los organismos acuáticos y un desequilibrio en el crecimiento de algas y vegetación acuática.
26-50	Mala	Sostiene una baja biodiversidad de vida acuática, principalmente de especies tolerantes. Manifiesta problemas con fuentes de contaminación puntual y difusa.
0-25	Pésima	Posibilita el crecimiento de poblaciones elevadas de un limitado número de organismos resistentes a aguas muy contaminadas.

Fuente: Pérez y Rodríguez, 2008.

Anexo 8. Tipificación del paisaje de la subcuenca Bahía de Acapulco (Parte 1)

FID	Shape *	RH	CUENCA	SUBCUENCA	EDAFOLOGÍA	CLIMA	USV	CLASE	SUBCLASE	UNIDAD	ÁREA (m^2)	ÁREA (ha)	PERÍMETRO
0	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Cambisol crómico	Aw	Áreas perturbadas	Lomerío	Área Degradada	LD-Cu6	7875450	787.544	18788.801
1	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico-Cambisol crómico	Aw	Manejo agrícola, pecuario y forestal	Planicie costera	Área de Aprovechamiento	PcA-Ag5	22042300	2204.23	44451
2	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Regosol éutico-Cambisol éutico	Aw	Selva baja	Lomerío	Área Degradada	LD-Cu1	57468700	5746.87	67644
3	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Cambisol éutico	Aw	Selva baja	Lomerío	Área Conservada	LC-S1	25179300	2517.92	28341
4	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico-Regosol éutico	Aw	Manejo agrícola, pecuario y forestal	Planicie costera	Área de Aprovechamiento	PcA-Ag1	6075440	607.543	20021.1
5	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Cambisol éutico	Aw	Áreas perturbadas	Lomerío	Área Degradado	LD-Cu2	2679960	267.996	9667.0195
6	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Áreas perturbadas	Lomerío	Área Degradada	LD-Cu3	4039060	403.90	9973.1904
7	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Gleysol éutrico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-S1	1847810	184.78	14448.7
8	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Cambisol crómico	Aw	Cuerpo de agua	Planicie costera	Cuerpo de agua	PcCa-L1	791204	79.12	4891.2002
9	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Regosol éutico	Aw	Usos no forestales	Lomerío	Área Degradada	LD-Cu4	4682510	468.25	12848.2
10	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Regosol éutico	Aw	Áreas perturbadas	Planicie costera	Área de Aprovechamiento	PcA-Ur4	11077700	1107.77	25445.9
11	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico-Regosol éutrico	Aw	Áreas perturbadas	Planicie costera	Área de Aprovechamiento	PcA-Ur1	4250120	425.01	21562.1
12	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Selva baja caducifolia y subcaducifolia	Lomerío	Área Conservada	LC-S2	29622000	2962.2	30064.1
13	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Regosol éutico	Aw	Selva baja	Lomerío	Área Conservada	LC-S3	77109800	7710.98	85670.602
14	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Cambisol dístrico	(A)C(w)	Bosque de coníferas y latifoliadas	Sierra	Área Degradada	SD-B1	5578350	557.83	12523.1
15	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Cambisol crómico-Feozem háplico	Aw	Áreas perturbadas	Lomerío	Área Degradada	LD-Cu5	15830800	1583.08	29870.699

RH=Región Hidrológica; USV=Uso de Suelo y Vegetación

Anexo 9. Tipificación del paisaje de la subcuenca Bahía de Acapulco (Parte 2)

FID	Shape *	RH	CUENCA	SUBCUENCA	EDAFOLOGÍA	CLIMA	USV	CLASE	SUBCLASE	UNIDAD	ÁREA (m^2)	ÁREA (ha)	PERÍMETRO
16	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M1	3753710	375.371	29666.4
17	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M2	73493.602	7.34936	2019.91
18	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M3	396693	39.6693	5075.75
19	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M4	25706.5	2.57065	1139.62
20	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M5	219700	21.969999	3990.1799
21	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M6	114603	11.4603	4960.1099
22	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M7	32296.6	3.22966	1220.05
23	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M8	12400.7	1.24007	739.96802
24	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M9	109219	10.9219	5162.0298
25	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M10	54284.5	5.42845	3056.49
26	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M11	11198.3	1.11983	779.68201
27	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M12	19305.199	1.93052	1640.78
28	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M13	111206	11.1206	4459.71
29	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M14	36097.398	3.60974	2799.98
30	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M15	17399.9	1.73999	959.48999
31	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M16	38406.801	3.84067	2860.4299
32	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M17	38800.602	3.88006	1560.66

RH=Región Hidrológica; USV=Uso de Suelo y Vegetación

Anexo 10. Tipificación del paisaje de la subcuenca Bahía de Acapulco (Parte 3)

FID	Shape *	RH	CUENCA	SUBCUENCA	EDAFOLOGÍA	CLIMA	USV	CLASE	SUBCLASE	UNIDAD	ÁREA (m^2)	ÁREA (ha)	PERÍMETRO
33	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M18	17604	1.7604	1299.46
34	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M19	333398	33.339699	6165.1401
35	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M20	10797.8	1.07978	959.85498
36	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M21	16624.6	1.66246	909.36499
37	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M22	95904.703	9.59047	3620.3799
38	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M23	13504.9	1.35049	800.26898
39	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Solonchak gléyico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M24	93104.797	9.31048	3364.22
40	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M25	36007.398	3.60074	1302.4
41	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M26	144411	14.4411	5880.0898
42	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M27	19098.5	1.90985	1139.5699
43	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M28	24600.5	2.46005	1179.85
44	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M29	265649	26.564899	6933.2598
45	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M30	17100.1	1.71001	1019.7
46	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M31	357450	35.744999	5149.6299
47	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M32	110610	11.061	3841.3301
48	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M33	19001	1.9001	760.10101
49	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M34	305393	30.539301	7181.54

RH=Región Hidrológica; USV=Uso de Suelo y Vegetación

Anexo 11. Tipificación del paisaje de la subcuenca Bahía de Acapulco (Parte 4)

FID	Shape *	RH	CUENCA	SUBCUENCA	EDAFOLOGÍA	CLIMA	USV	CLASE	SUBCLASE	UNIDAD	ÁREA (m^2)	ÁREA (ha)	PERÍMETRO
50	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M35	13301.4	1.33014	900.86401
51	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M36	15196.2	1.51962	919.914
52	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M37	798128	79.812798	13658.5
53	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M38	22203.199	2.22032	1000.4
54	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M39	49205.801	4.92058	2339.8401
55	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M40	23196.6	2.31966	1219.7
56	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M41	17202.301	1.72023	920.35303
57	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Cuerpo de agua	Planicie costera	Cuerpo de agua	PcCa_L2	31359700	3135.97	52123.5
58	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Cuerpo de agua	PcCa-Is1	100244	10.0244	1730.14
59	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-M43	52748.699	5.27487	1422.59
60	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Cuerpo de agua	PcCa-Is2	23416.301	2.34163	692.841
61	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Zona inundable	PcZi-Mr1	5414850	541.48499	51932.199
62	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico-Regosol éutico	Aw	Manejo agrícola, pecuario y forestal	Planicie costera	Área de Aprovechamiento	PcA-Ag2	22099300	2209.9299	58880.301
63	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Arenosol	Aw	Vegetación de suelos arenosos. Manejo agropecuario	Planicie costera	Área de Aprovechamiento	PcA-Ur2	10108100	1010.81	50428.301
64	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico	Aw	Áreas perturbadas	Planicie costera	Área de Aprovechamiento	PcA-Ag3	8314990	831.49902	40190.398
65	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Regosol éutico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Área de Aprovechamiento	PcA-Ur3	1261360	126.136	5692.4102
66	Polígono	Costa Grande	R. Atoyac y otros	B. de Acapulco	Feozem háplico-Regosol éutico	Aw	Usos no forestales	Planicie costera	Área de Aprovechamiento	PcA-Ag4	4256270	425.62701	15958.8

RH=Región Hidrológica; USV=Uso de Suelo y Vegetación.