



Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Programa de Posgrado

## Tesis

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN PUNTUAL Y  
DIFUSA EN LA BAHÍA DE ACAPULCO, GUERRERO

que para obtener el grado de  
Maestría en Ciencias y Tecnología del Agua  
(Sistemas Ambientales)

presenta  
Héctor Eduardo Arellano Franco

Tutor: M.C. Marfa del Pilar Saldaña Fabela



**Instituto Mexicano de Tecnología del Agua**

**Programa de Posgrado**

## **Tesis**

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN PUNTUAL Y  
DIFUSA EN LA BAHÍA DE ACAPULCO, GUERRERO**

que para obtener el grado de  
**Maestría en Ciencias y Tecnología del Agua**  
**(Sistemas Ambientales)**

presenta  
**Héctor Eduardo Arellano Franco**

Tutor: M.C. María del Pilar Saldaña Fabela

Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimoniales de la obra titulada "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN PUNTUAL Y DIFUSA EN LA BAHÍA DE ACAPULCO, GUERRERO", otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre su personal, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una contraprestación.

**HÉCTOR EDUARDO ARELLANO FRANCO**

SIUTCPÉC Morelas 10-Agosto-2010

Lugar y fecha

  
Firma

*El presente trabajo de investigación se realizó con el apoyo y los recursos del Fondos Sectoriales de CONAGUA-CONACYT enmarcado en el convenio de la **Convocatoria CONAGUA-CONACyT 2006-CO1-4880**. Por lo que el apoyo otorgado para la realización del trabajo de tesis fue una parte fundamental para el desarrollo de los trabajos de campo y laboratorio otorgados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).*

## AGRADECIMIENTOS.

A la memoria de mi padre Eduardo Arellano Amero<sup>†</sup>, quien a pesar de no estar físicamente conmigo, siempre ha estado y seguirá en mi corazón y en mi memoria. ....

A la mujer que me dio la oportunidad de vivir, de ser quien soy... quien con su ejemplo y fuerza ante la vida siempre me ha hecho seguir adelante a pesar de que todo esté mal. Gracias a ti... por aguantarme en mis momentos de histeria, que han sido muchos... no soy bueno al expresar lo que siento además de una profunda admiración, respeto, cariño, y desde luego... amor. Gracias madre.

A mis hermanas Angélica y Patricia. Mis enanos Patty, Cacho, Diana y Karly... por estar ahí dando lata y llenando mi vida con sus gritos y risas.

A la M.C. Pilar Saldaña Fabela, por haberme dado la oportunidad de emprender este proyecto y seguir aprendiendo día a día a través del trabajo. Y por haber dirigido este trabajo de tesis.

A la Dra. Gabriela Mantilla Morales, por esa tarde que me dio mis “*patadas*”, gracias también por sus observaciones claras, objetivas y precisas, y sobre todo por su valioso tiempo. Gracias inspirarme ese “*terror*” que le tengo, que mas que terror es admiración y respeto.

A la Dra. Petia Mijaylova Nacheva, por su apoyo incondicional a lo largo de este posgrado, por ser un ejemplo de determinación, compromiso y amor por la camiseta.

Al M.I. Jorge Izurieta Dávila, por permitirme colaborar con él, por la guía en este trabajo y por el apoyo que he recibido siempre de él.

Al M.C. Alejandro Ruiz López “el Doc”... a Ud mas que a nadie le estoy profundamente agradecido por las horas que me dedico, por los chorrocientos mil artículos que me ayudo a conseguir para poder defender decentemente este trabajo, por su amistad, y por tantas cosas que he aprendido de Ud. en todo este tiempo que he tenido el honor de conocerlo personal y profesionalmente, gracias también por la paciencia y esas palabras cuando estuve a punto de botar este proyecto al olvido.

Al personal del posgrado, Chucho, Lilí, Marthita, Ale, Silvia, al Dr Sainz.

Y como olvidar a ese aunque pequeño, pero singular grupo de rufianes que tuve como compañeros de suplicio... Alex, Camilo, Diego, Víctor, y desde luego Vanne, que tuvo el coraje de soportar nuestras muy peculiares personalidades. Gracias por permitirme conocerlos, porque a lo largo de este tiempo se han convertido en mas que compañeros... en verdaderos amigos, haciendo de esas “*acalambradas e infartos cerebrales*” algo más agradable.

*Gracias.*

*“Cuando nos topamos con imposibles, cuando todo está en tu contra y estas cansado de luchar contra corriente, desesperado y a punto de tirarlo todo por la borda... lo más recomendable es cerrar los ojos un instante, tomar un respiro y seguir adelante tratando de encontrar la solución.... Basta un chispazo, una idea descabellada, un momento de inspiración para hacer posible lo imposible”.*

## RESUMEN

En la primera mitad del siglo pasado, el deterioro de la calidad del agua en zonas urbanas estuvo asociado con las fuentes puntuales de industrias, operaciones comerciales y descargas domésticas. Sin embargo, no fue sino hasta la década de los años setenta cuando se observó que una parte significativa de la contaminación de las zonas urbanas era originada a partir de fuentes no puntuales. Las fuentes no puntuales han sido identificadas por la USEPA como la mayor causa de contaminación de cuerpos de agua superficiales.

La degradación de la calidad de los recursos hídricos es la resultante de la contaminación que afecta los cuerpos de agua, ya sean contaminantes originados por fuentes puntuales, como descargas industriales o domésticas, o por fuentes de origen difuso, como los generados por actividades urbanas o rurales (fertilizantes, agrotóxicos, combustibles, solventes, descargas domésticas sin conexión a la red de alcantarillado, etc.). Los principales contaminantes que se asocian a la contaminación difusa son los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo principalmente), plaguicidas, compuestos orgánicos, sedimentos, especies químicas inorgánicas como metales pesados y organismos patógenos.

De acuerdo con los datos reportados por la SEMARNAT, en el año 2002 casi un 25% de las playas Mexicanas evaluadas presentaron bajos índices de calidad del agua. Este estudio hace referencia a que este decremento en la calidad del agua en las zonas costeras con uso recreativo y de contacto primario, se debe en gran medida a una falta de tratamiento y disposición adecuada de las aguas residuales de los centros urbanos. La actividad turística en nuestro país es una de las principales generadoras del desarrollo económico, por lo cual es sumamente importante la preservación de los lugares de mayor atractivo turístico. La ciudad y puerto de Acapulco, en el estado de Guerrero, es uno de los puntos de mayor atracción turística, no solo nacional sino internacional por lo que se debe vigilar la calidad de las aguas de la bahía.

Este estudio se llevó a cabo en la bahía de Santa Lucía, en la ciudad y puerto de Acapulco de Juárez Guerrero. Durante el año 2008 se llevó a cabo la evaluación del impacto que debido al aporte de nitrógeno, fósforo y organismos patógenos de fuentes puntuales y difusas tiene la bahía de Acapulco. Para dicho estudio se utilizó el modelo matemático GWLF, a través de una plataforma SIG (ArcView), la cual está conformada a través de diferentes capas temáticas que se desarrollan en el área de estudio. El modelo se calibró con los datos analíticos recabados a través de dos muestreos en campo en los meses de Marzo y Julio de 2008, cuando se analizaron los escurrimientos de los arroyos Aguas Blancas, El Camarón, La Garita y Costa Azul, las playas turísticas y estaciones de trabajo localizadas en el interior de la bahía. Además, para la temporada de lluvias se consideró monitorear el escurrimiento de estos arroyos con la finalidad de cuantificar las concentraciones de microorganismos patógenos que llegan a la bahía debido a los escurrimientos y arrastre del material depositado en el suelo. De igual forma se aforaron los escurrimientos de los arroyos durante los dos eventos de muestreo en los meses de Marzo y Julio, contrastando éstos contra la producción estimada de aguas residuales municipales para ese mismo periodo para efectuar un balance de pérdida de flujo.

Para realizar la modelación y su correspondiente calibración, fue necesario el empleo de información sobre afluencia turística, censos de población, vivienda, animales y servicios, topografía, uso de suelo, cobertura vegetal, climatología referente al menos de 20 años e hidrología, entre otros.

Algunos de los resultados de este estudio son la estimación de la producción neta de aguas residuales para la ciudad y puerto de Acapulco, tomando las dos zonas turísticas que están incluidas en el área de estudio y las cuales dan como resultado un flujo de  $1.9\text{m}^3/\text{s}$ . Aproximadamente  $0.8\text{m}^3/\text{s}$  de este

caudal no es recolectado y representa un flujo de 1868 kg/día de Nitrógeno total y 454.6kg/día de Fósforo total que llegan a la bahía en forma de descarga cruda de aguas residuales.

Se encontraron altas concentraciones en algunas playas, con valores máximos de hasta  $1.55 \cdot 10^5$  Enterococos fecales NMP/100mL en la playa “La Diana”. En estaciones en el interior de la bahía se logró cuantificar hasta  $2.42 \cdot 10^4$  Enterococos fecales NMP/100mL. Para el caso de los escurrimientos de los arroyos en temporada de lluvias, se cuantificaron concentraciones de hasta  $4.57 \cdot 10^7$  coliformes fecales NMP/100mL, durante las primeras lluvias en el mes de Mayo de 2008 en el arroyo Aguas Blancas; mismo que recibe una buena parte de las descargas de aguas residuales que se infiltran y se conducen hasta su desembocadura con la bahía. Se aprecia una tendencia a disminuir las concentraciones de este parámetro microbiológico a lo largo del periodo de lluvias, lo que se explica en gran parte al lavado de las microcuencas que conforman el área de estudio.

Los arroyos y cauces naturales son utilizados como sistema de conducción de aguas residuales que son vertidas de forma clandestina y son transportadas hacia el mar llegando a las playas, en donde se infiltran en la arena y/o llegan de forma directa, contribuyendo con sus respectivas cargas de nitrógeno, fósforo, organismos patógenos y sólidos, a la alteración de la calidad del agua de la bahía. Es importante señalar que la vocación de la bahía tiene que cumplir con los parámetros que permitan contacto primario con uso recreacional y para protección de la vida acuática, y está reglamentada por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua y los Criterios de Riesgo Sanitario de la Secretaría de Salud.

Se emplearon dos modelos matemáticos adicionales (LOICZ y ASSETS) para modelar el comportamiento de los nutrientes en el sistema de la bahía y el estado trófico del mismo. Con estos modelos se realizaron evaluaciones a través de balances de masas y flujos y ayudan a clasificar el sitio como sumidero o fuente de nutrientes. Además, estos modelos permiten evaluar la susceptibilidad del sistema hacia cambios en su estado trófico a través de ponderaciones de factores de presión, síntomas primarios y secundarios de estados alterados, tales como floraciones de especies nocivas.

Como parte de los resultados de estos modelos, se observa que la bahía de Santa Lucía tiene un comportamiento de sumidero de nitrógeno; es decir, es un sistema el cual tiene la característica de absorber una mayor cantidad de nitrógeno que la que exporta hacia el océano, mientras que para el fósforo es una fuente de aporte hacia afuera del sistema. La bahía tiene un índice de susceptibilidad moderadamente alto a los procesos de un proceso de eutrofización y está caracterizada por un bajo potencial de dilución y un potencial de flujo moderado, con un nivel moderado de entrada de nutrientes. De igual forma, el sistema presenta algunos síntomas primarios de estados tróficos alterados, como las bajas concentraciones de clorofila a, además se presentan síntomas secundarios de bajo nivel, como la presencia de algas tóxicas y nocivas tales como es la floración esporádica de marea roja. De acuerdo con el modelo ASSETS; de mantenerse las condiciones de la bahía, la perspectiva a mediano plazo es un status el cual no tendrá cambios significativos que deterioren la calidad del sistema. Por lo tanto, se puede inferir que a pesar de recibir una fuerte carga de nutrientes por las descargas de los arroyos que desembocan directamente en la bahía, no tienden a favorecer un aumento considerable en las condiciones eutróficas de la misma y se esperaría que el sistema se mantenga estable a pesar de recibir una fuerte presión debido a factores urbanos.

Al analizar las relaciones estequiométricas de nutrientes particulares de cada una de las estaciones de la bahía, se observó que existen coincidencias entre estos los sitios de mayor alteración estequiométrica de nitrógeno - fósforo con las estaciones en que se encuentran la mayor proporción de géneros de dinoflagelados en la composición fitoplanctónica. Esta observación pudiera ser utilizable para efectos de identificación de zonas con problemas de mezclas de aguas residuales en sistemas costeros. Con base en esta relación de alteración estequiométrica de nutrientes, se observa que la estación de referencia para la bahía presenta una relación N – P muy elevada ( $45.6N : 1P$ ), por lo que pudiera estar



coincidiendo en la zona de mezcla o pluma de la descarga de aguas residuales, que tiene un movimiento con dirección sur-sureste, bordeando la bocana de la bahía y entrando parcialmente en ella.

Para lograr que las condiciones actuales de la bahía sean más favorables y exista una mejora significativa del sistema, es necesario hacer algunas consideraciones, como la disminución de los aportes de nutrientes y organismos patógenos, en gran parte provenientes de las descargas de aguas residuales. Esto se debe llevar a cabo mediante un programa de verificación y rehabilitación de la infraestructura hidráulica de colección, bombeo y tratamiento de aguas residuales provenientes de la zona urbana del anfiteatro. Del mismo modo, es necesario que los efluentes de estos sistemas de tratamiento cumplan con la normatividad mexicana aplicable para protección de la vida acuática y para prevención de riesgos sanitarios debido a las concentraciones de microorganismos patógenos de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996 (cuerpo receptor tipo A).

Es recomendable dar un mejor seguimiento a la calidad del agua recreativa en la zona costera de la bahía, incrementando la periodicidad de los monitoreos de la calidad microbiológica del agua de las playas y haciendo disponible esta información al público, a fin de orientarlo acerca de los posibles riesgos sanitarios al hacer uso de las playas. Es importante verificar y unificar los criterios tanto en la toma de muestras como en la selección de lugares para estos, ya que a la fecha existe mucha discrepancia entre los datos oficiales reportados por las diferentes instituciones encargadas de monitorear la calidad del agua para fines de protección a la salud y al ambiente (Semarnat, Secretaría de Salud, Conagua).

## GLOSARIO

|  |   |
|--|---|
| <p>ASSETS<br/>C.E.<br/>CAPAMA<br/><br/>CECA<br/>Clorofila a<br/><br/>CONACyT<br/>CONAGUA<br/>DBO<br/>Enfermedades de transmisión hídrica<br/><br/>GWLF<br/>IMAR<br/>IMTA<br/>INEGI<br/>L/s<br/>LFD<br/>LMP<br/>LOICZ<br/>m<sup>3</sup>/s<br/>NEEA<br/>NMP/100mL<br/><br/>NOAA<br/>NOM-001-Semarnat-1996<br/><br/>OMS<br/>pH<br/>PTAR<br/>SEMARNAT<br/>SIG<br/>TDS<br/>UAG<br/>UFC/100mL<br/><br/>USEPA</p> | <p><i>Assessment of Estuarine Trophic Status.</i><br/><i>Conductividad Eléctrica, expresada como <math>\mu</math>Siemens/cm.</i><br/><i>Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco.</i><br/><i>Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.</i><br/><i>Pigmento fotosintético de estructura porfirínica con núcleo metálico de magnesio, exclusivo de vegetales y cianobacterias, el cual les confiere el color verde a estos. Utilizada ampliamente para la estimación de biomasa fitoplanctónica.</i><br/><i>Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.</i><br/><i>Comisión Nacional del Agua.</i><br/><i>Demanda Bioquímica de Oxígeno, expresado en mg/L</i><br/><i>Son aquellas en que el agua actúa como vehículo del agente infeccioso cuando los microorganismos patogénicos están en el agua, a través de las excretas de personas o animales infectados, causando problemas y trastornos notorios en el tracto digestivo del hombre y animales. Estas son enfermedades causadas por bacterias, virus, hongos, protozoarios y helmintos. (amibiasis, cólera, diarreas agudas infecciosas y tóxicas, tifoidea, hepatitis a, entre otras).</i><br/><i>Generalized Watershed Loading Function.</i><br/><i>Institute of Marine Research - US.</i><br/><i>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.</i><br/><i>Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.</i><br/><i>Litros por Segundo, medida de flujo.</i><br/><i>Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.</i><br/><i>Límite Máximo Permisible.</i><br/><i>Land Ocean Interactions in the Coastal Zone.</i><br/><i>metros cúbicos por segundo, medida de flujo.</i><br/><i>National Estuarine Eutrophication Assessment – US.</i><br/><i>Número Más Probable /100mL, unidad de concentración para determinaciones microbiológicas.</i><br/><i>National Oceanic and Atmospheric Administration – US.</i><br/><i>Norma Oficial Mexicana, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.</i><br/><i>Organización Mundial de la Salud- ONU.</i><br/><i>Potencial de hidrógeno, expresado en unidades potenciométricas.</i><br/><i>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.</i><br/><i>Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.</i><br/><i>Sistema de información Geográfica.</i><br/><i>Sólidos Disueltos Totales, expresados en mg/L</i><br/><i>Universidad Autónoma de Guerrero, México.</i><br/><i>Unidad Formadora de Colonias/100mL, unidad de concentración para determinaciones microbiológicas.</i><br/><i>United States Environmental Protection Agency.</i></p> |
|--|---|

## INDICE

|   |         |
|---|---------|
| 1.- Estado del arte.....  | - 1 -   |
| 2.- Antecedentes.....   | - 7 -   |
| 3.- Planteamiento del problema .....  | - 12 -  |
| 4.- Justificación .....   | - 15 -  |
| 5.- Objetivos .....   | - 17 -  |
| 6.- Metodología .....   | - 17 -  |
| 6.1 Área de estudio.....  | - 17 -  |
| 6.2 Selección de Estaciones de Muestreo .....   | - 20 -  |
| 7.- Resultados .....  | - 28 -  |
| 7.1 Aforo de los arroyos .....  | - 28 -  |
| 7.1.1 1er Muestreo .....  | - 28 -  |
| 7.1.1.1 Arroyo Aguas Blancas.....   | - 28 -  |
| 7.1.1.2 Arroyo La Garita .....  | - 29 -  |
| 7.1.2 2º Muestreo.....  | - 30 -  |
| 7.1.2.1 Arroyo El Camarón.....  | - 30 -  |
| 7.1.2.2 Arroyo La Garita .....  | - 31 -  |
| 7.2 Balance de aguas residuales .....   | - 32 -  |
| 7.3 Cobertura de red de drenaje y sistemas sépticos .....   | - 33 -  |
| 7.4 Afluencia turística del puerto de Acapulco. ....  | - 35 -  |
| 7.5 Modelo GWLF.....  | - 41 -  |
| 7.5.1 Uso del suelo y vegetación (Landuse) .....  | - 42 -  |
| 7.5.2 Modelo digital de elevación (Padem).....  | - 42 -  |
| 7.5.3 Contenido de nitrógeno en agua subterránea (Gwn).....   | - 43 -  |
| 7.5.4 Contenido de Fósforo en el Suelo (SOILP) .....  | - 44 -  |
| 7.5.5 Ríos o corrientes de agua (STREAMS).....  | - 44 -  |
| 7.5.6 Estaciones Climatológicas (WEATHSTA) .....  | - 45 -  |
| 7.5.7 Descarga de fuentes puntuales (POINTSRC) .....  | - 46 -  |
| 7.5.8 Tipo de suelo o edafología (SOILS) .....  | - 48 -  |
| 7.5.9 Coeficientes USLE (County).....   | - 49 -  |
| 7.5.10 Densidad animal (Zipcode).....   | - 49 -  |
| 7.5.11 Sistemas sépticos (Censustr).....  | - 51 -  |
| 7.6 Resultados de la modelación de la cuenca completa.....  | - 52 -  |
| 7.7 Análisis por micro cuenca.....  | - 57 -  |
| 7.8 Análisis del Estado Trófico del sistema de la bahía de Acapulco Guerrero – Modelos LOICZ - ASSETS ..... | - 70 -  |
| 7.8.1 Escenario 1. Condiciones Bajas.....   | - 70 -  |
| 7.8.2 Escenario 2. Condiciones medias, medias críticas .....  | - 80 -  |
| 7.9 Relación de nutrientes N:P (Relación de Redfield) & fitoplancton.....                                   | - 88 -  |
| 7.10 Análisis de resultados de nutrientes y microbiológicos en los arroyos .....                            | - 93 -  |
| 7.11 Análisis de resultados microbiológicos en los Arroyos durante temporada de lluvias .....               | - 96 -  |
| 7.12 Análisis de resultados de nutrientes y microbiológicos en playas .....                                 | - 110 - |
| 7.13 Análisis de resultados de nutrientes y microbiológicos en Bahía .....                                  | - 114 - |



|  |         |
|--|---------|
| 7.14 Red nacional de monitoreo - bahía (Coliformes fecales).....   | - 119 - |
| 7.15 SEMARNAT, Programa Playas Limpias, Calidad bacteriológica de la bahía de Acapulco<br>(Enterococos fecales)..... | - 125 - |
| 8.- Conclusiones .....   | - 136 - |
| 9.- Referencias.....   | - 140 - |
| ANEXO FOTOGRÁFICO .....  | - 145 - |

## TABLAS

|   |         |
|---|---------|
| <i>TABLA 1. ESCURRIMIENTO ANUAL ESTIMADO DE LAS SUBCUENCAS DE ACAPULCO GRO. ....</i>  | - 10 -  |
| <i>TABLA 2 REFERENCIAS GEOGRÁFICAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO DEL PROYECTO. ....</i>   | - 21 -  |
| <i>TABLA 3 CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN .....</i>  | - 26 -  |
| <i>TABLA 4 PARÁMETROS, PROCEDIMIENTO, TIEMPO MÁXIMO DE ANÁLISIS Y PRESERVACIÓN.....</i>   | - 27 -  |
| <i>TABLA 5 OFERTA HOTELERA DEL PUERTO DE ACAPULCO, 2002 A 2006. ....</i>  | - 36 -  |
| <i>TABLA 6 AFLUENCIA TURÍSTICA MENSUAL DE ACAPULCO TRADICIONAL Y DORADO.....</i>  | - 36 -  |
| <i>TABLA 7 ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y CARGAS DE NITRÓGENO Y FÓSFORO.....</i>                                      | - 38 -  |
| <i>TABLA 8 COMPOSICIÓN PROMEDIO DE NITRÓGENO Y FÓSFORO DE LAS AGUAS RESIDUALES. ....</i>  | - 38 -  |
| <i>TABLA 9 ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO PARA MARZO 2006. ....</i>  | - 39 -  |
| <i>TABLA 10 USO DE SUELO .....</i>  | - 42 -  |
| <i>TABLA 11 INFORMACIÓN CONTENIDA EN LA TABLA DE ATRIBUTOS DE LA CAPA WEATHSTA .....</i>  | - 45 -  |
| <i>TABLA 12 ATRIBUTOS DE LAS DESCARGAS DE FUENTES PUNTUALES .....</i>   | - 46 -  |
| <i>TABLA 13 ATRIBUTOS DEL TIPO DE SUELO EN EL ANFITEATRO DE ACAPULCO DE JUÁREZ.....</i>   | - 48 -  |
| <i>TABLA 14 ATRIBUTOS DE LA COBERTURA DE COUNTY.....</i>  | - 49 -  |
| <i>TABLA 15 DENSIDAD ANIMAL. ....</i>   | - 50 -  |
| <i>TABLA 16 ATRIBUTOS DE LA CAPA CENSUSTR.....</i>  | - 51 -  |
| <i>TABLA 17 DATOS DE CENSO ANIMAL A CONSIDERAR PARA LAS 4 MICRO CUENCAS .....</i>   | - 57 -  |
| <i>TABLA 18 DATOS DE LAS CONCENTRACIONES DE COLIFORMES FECALES MODELADOS EN LOS 4 ARROYOS. -</i>                                      | 69 -    |
| <i>TABLA 19 DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO LOICZ, 1ER ESCENARIO, CONDICIONES BAJAS.....</i>  | - 71 -  |
| <i>TABLA 20 DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO ASSETS, 1ER ESCENARIO, CONDICIONES BAJAS. ....</i>  | - 75 -  |
| <i>TABLA 21 DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO LOICZ, 2° ESCENARIO, CONDICIONES MEDIAS - MEDIAS<br/>CRÍTICAS. ....</i>                   | - 80 -  |
| <i>TABLA 22 DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO ASSETS, 2° ESCENARIO, CONDICIONES MEDIAS - MEDIAS<br/>CRÍTICAS. ....</i>                  | - 83 -  |
| <i>TABLA 23. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE REDFIELD EN LA BAHÍA DE ACAPULCO GRO.....</i>  | - 89 -  |
| <i>TABLA 24. GÉNEROS IDENTIFICADOS EN EL MUESTREO DE FITOPLANCTON EN LA BAHÍA DE ACAPULCO GRO. . -</i>                                | 91 -    |
| <i>TABLA 25 DATOS DE CALIDAD DEL AGUA DEL PRIMER Y SEGUNDO MUESTREO EN CAMPO EN LAS ESTACIONES<br/>DE ARROYOS. ....</i>               | - 93 -  |
| <i>TABLA 26 DATOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LAS LLUVIAS ESCURRIMIENTOS EN LOS ARROYOS<br/>(COLIFORMES FECALES).....</i>   | - 96 -  |
| <i>TABLA 27 DATOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LAS LLUVIAS ESCURRIMIENTOS EN LOS ARROYOS<br/>(ENTEROCOCOS FECALES). ....</i> | - 103 - |
| <i>TABLA 28 DATOS DE CALIDAD DEL AGUA DEL PRIMER Y SEGUNDO MUESTREO EN CAMPO EN LAS ESTACIONES<br/>DE PLAYA.....</i>                  | - 110 - |
| <i>TABLA 29 DATOS DE CALIDAD DEL AGUA DEL PRIMER Y SEGUNDO MUESTREO EN CAMPO EN LAS ESTACIONES<br/>DE BAHÍA.....</i>                  | - 115 - |

## FIGURAS

|   |             |
|---|-------------|
| <i>FIGURA 1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</i>   | <i>18 -</i> |
| <i>FIGURA 2 LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO EN LOS ARROYOS.....</i>  | <i>22 -</i> |
| <i>FIGURA 3. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO EN LAS PLAYAS.....</i>  | <i>23 -</i> |
| <i>FIGURA 4. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO EN EL INTERIOR DE LA BAHÍA.....</i>   | <i>24 -</i> |
| <i>FIGURA 5. TRAZO DE LA RED DE COLECTORES EN LA ZONA DEL ANFITEATRO DE ACAPULCO GUERRERO...-</i>   | <i>35 -</i> |
| <i>FIGURA 6. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</i>  | <i>41 -</i> |
| <i>FIGURA 7. USO DE SUELO AL 2008 (LANDUSE).....</i>  | <i>42 -</i> |
| <i>FIGURA 8. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (PADEM).....</i>   | <i>43 -</i> |
| <i>FIGURA 9. NITRÓGENO EN POZOS Y NORIAS PARA ABASTECIMIENTO (GWN).....</i>   | <i>44 -</i> |
| <i>FIGURA 10. PRINCIPALES CORRIENTES DE LOS ARROYOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....</i>  | <i>45 -</i> |
| <i>FIGURA 11. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....</i>  | <i>46 -</i> |
| <i>FIGURA 12. LOCALIZACIÓN DE LAS 2 DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.....</i>  | <i>47 -</i> |
| <i>FIGURA 13. TIPO DE SUELO.....</i>  | <i>48 -</i> |
| <i>FIGURA 14. DENSIDAD ANIMAL (ZIPCODES).....</i>   | <i>50 -</i> |
| <i>FIGURA 15. SISTEMAS SÉPTICOS (CENSUSTR).....</i>   | <i>51 -</i> |
| <i>FIGURA 16. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MODELO ASSETS.....</i>   | <i>71 -</i> |
| <i>FIGURA 17. DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO LOICZ, 1ER ESCENARIO CONDICIONES BAJAS.....</i>   | <i>72 -</i> |
| <i>FIGURA 18. DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO LOICZ, BALANCE DE FLUJOS, 1ER ESCENARIO<br/>CONDICIONES BAJAS.....</i>                              | <i>73 -</i> |
| <i>FIGURA 19. DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO LOICZ, BALANCE DE SALINIDAD Y NUTRIENTES, 1ER<br/>ESCENARIO CONDICIONES BAJAS.....</i>              | <i>74 -</i> |
| <i>FIGURA 20. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO ASSETS, PARTE 1, 1ER ESCENARIO CONDICIONES MEDIAS.-</i>   | <i>76 -</i> |
| <i>FIGURA 21. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO ASSETS PARTE 2, 1ER ESCENARIO CONDICIONES MEDIAS.-</i>  | <i>77 -</i> |
| <i>FIGURA 22. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO ASSETS PARTE 3, 1ER ESCENARIO CONDICIONES MEDIAS.-</i>  | <i>78 -</i> |
| <i>FIGURA 23 DATOS DE ENTRADA DEL MODELO ASSETS PARTE 4, 1ER ESCENARIO CONDICIONES MEDIAS..-</i>  | <i>79 -</i> |
| <i>FIGURA 24. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO ASSETS PARTE 5, 1ER ESCENARIO CONDICIONES MEDIAS.-</i>  | <i>80 -</i> |
| <i>FIGURA 25. DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO LOICZ, BALANCE DE FLUJO Y SALINIDAD, 2° ESCENARIO<br/>CONDICIONES MEDIAS – MEDIAS CRÍTICAS.....</i> | <i>82 -</i> |
| <i>FIGURA 26. DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO LOICZ, BALANCE DE NUTRIENTES, 2° ESCENARIO<br/>CONDICIONES MEDIAS – MEDIAS CRÍTICAS.....</i>        | <i>83 -</i> |
| <i>FIGURA 27. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO ASSETS, PARTE 1, 2° ESCENARIO CONDICIONES MEDIAS –<br/>MEDIAS CRÍTICAS.....</i>                         | <i>84 -</i> |
| <i>FIGURA 28. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO ASSETS, PARTE 2, 2° ESCENARIO CONDICIONES MEDIAS –<br/>MEDIAS CRÍTICAS.....</i>                         | <i>85 -</i> |
| <i>FIGURA 29. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO ASSETS, PARTE 3, 2° ESCENARIO CONDICIONES MEDIAS –<br/>MEDIAS CRÍTICAS.....</i>                         | <i>86 -</i> |
| <i>FIGURA 30. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO ASSETS, PARTE 4, 2° ESCENARIO CONDICIONES MEDIAS –<br/>MEDIAS CRÍTICAS.....</i>                         | <i>87 -</i> |
| <i>FIGURA 31. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO ASSETS, PARTE 5, 2° ESCENARIO CONDICIONES MEDIAS –<br/>MEDIAS CRÍTICAS.....</i>                         | <i>88 -</i> |
| <i>FIGURA 32. PUNTOS DE MUESTREO DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA.....</i>   | <i>90 -</i> |

*FIGURA 33. DATOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LOS ARROYOS (COLIFORMES FECALES).* - 95 -  
*FIGURA 34. DATOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LOS ARROYOS (ENTEROCOCOS FECALES).*.....  
..... - 95 -  
*FIGURA 35. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LAS LLUVIAS – ESCURRIMIENTOS EN LOS ARROYOS  
(COLIFORMES FECALES).*..... - 101 -  
*FIGURA 36. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LAS LLUVIAS – ESCURRIMIENTOS EN LOS ARROYOS  
(ENTEROCOCOS FECALES).*..... - 108 -  
*FIGURA 37. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS PLAYAS (COLIFORMES FECALES).* ..... - 112 -  
*FIGURA 38. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS PLAYAS (ENTEROCOCOS FECALES).*..... - 114 -  
*FIGURA 39. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LA BAHÍA (COLIFORMES FECALES).*..... - 118 -  
*FIGURA 40. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LA BAHÍA (ENTEROCOCOS FECALES).*..... - 118 -  
*FIGURA 41. DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO DE LA RED NACIONAL DE MONITOREO  
(COLIFORMES FECALES).*..... - 119 -  
*FIGURA 42. DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO DEL PROGRAMA PLAYAS LIMPIAS DE LA  
SEMARNAT (ENTEROCOCOS FECALES).* ..... - 125 -

## GRAFICAS

|  |         |
|--|---------|
| <i>GRÁFICA 1. PERIODICIDAD DE MÁXIMA AFLUENCIA TURÍSTICA.</i>  | - 37 -  |
| <i>GRÁFICA 2. PRODUCCIÓN MENSUAL DE NUTRIENTES CON ORIGEN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.</i>                         | - 40 -  |
| <i>GRÁFICA 3. ESTIMACIÓN DEL APORTE DE ORGANISMOS COLIFORMES FECALES POR RUBRO.</i>                                    | - 52 -  |
| <i>GRÁFICA 4. ESTIMACIÓN DEL APORTE DE ORGANISMOS COLIFORMES FECALES EN EL RUBRO URBANO.</i>                           | - 53 -  |
| <i>GRÁFICA 5. HIDROLOGÍA, PROMEDIO CON 25 AÑOS DE MODELACIÓN.</i>  | - 54 -  |
| <i>GRÁFICA 6. CARGAS DE NITRÓGENO POR RUBRO.</i>   | - 55 -  |
| <i>GRÁFICA 7. CARGAS DE FÓSFORO POR RUBRO.</i>   | - 56 -  |
| <i>GRÁFICA 8. APORTE DE ORGANISMOS COLIFORMES FECALES POR MICRO CUENCA DE ACUERDO AL RUBRO DE FAUNA SILVESTRE.</i>     | - 57 -  |
| <i>GRÁFICA 9. APORTE DE ORGANISMOS COLIFORMES FECALES POR MICRO CUENCA DE ACUERDO AL RUBRO DE ÁREA URBANA.</i>         | - 58 -  |
| <i>GRÁFICA 10. APORTE DE ORGANISMOS COLIFORMES FECALES POR MICRO CUENCA DE ACUERDO AL RUBRO DE SISTEMAS SÉPTICOS.</i>  | - 59 -  |
| <i>GRÁFICA 11. APORTE DE ORGANISMOS COLIFORMES FECALES POR MICRO CUENCA DE ACUERDO AL RUBRO DE ANIMALES DE GRANJA.</i> | - 60 -  |
| <i>GRÁFICA 12. PORCENTAJE DE APORTE DE ORGANISMOS COLIFORMES FECALES EN LA MICRO CUENCA AGUAS BLANCAS, POR RUBRO.</i>  | - 61 -  |
| <i>GRÁFICA 13. PORCENTAJE DE APORTE DE ORGANISMOS COLIFORMES FECALES EN LA MICRO CUENCA EL CAMARÓN, POR RUBRO.</i>     | - 62 -  |
| <i>GRÁFICA 14. PORCENTAJE DE APORTE DE ORGANISMOS COLIFORMES FECALES EN LA MICRO CUENCA LA GARITA, POR RUBRO.</i>      | - 63 -  |
| <i>GRÁFICA 15. PORCENTAJE DE APORTE DE ORGANISMOS COLIFORMES FECALES EN LA MICRO CUENCA COSTA AZUL, POR RUBRO.</i>     | - 64 -  |
| <i>GRÁFICA 16. APORTE DE NUTRIENTES Y SEDIMENTOS POR PÉRDIDA DE SUELO EN LA MICRO CUENCA EL CAMARÓN.</i>               | - 65 -  |
| <i>GRÁFICA 17. APORTE DE NUTRIENTES Y SEDIMENTOS POR PÉRDIDA DE SUELO EN LA MICRO CUENCA LA GARITA.</i>                | - 66 -  |
| <i>GRÁFICA 18. APORTE DE NUTRIENTES Y SEDIMENTOS POR PÉRDIDA DE SUELO EN LA MICRO CUENCA COSTA AZUL.</i>               | - 67 -  |
| <i>GRÁFICA 19. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE COLIFORMES FECALES EN LOS ARROYOS.</i>                         | - 68 -  |
| <i>GRÁFICA 20. COLIFORMES FECALES EN EL ARROYO AGUAS BLANCAS, TEMPORADA DE LLUVIAS, ACAPULCO GRO 2008.</i>             | - 97 -  |
| <i>GRÁFICA 21. COLIFORMES FECALES EN EL ARROYO EL CAMARÓN, TEMPORADA DE LLUVIAS, ACAPULCO GRO 2008.</i>                | - 98 -  |
| <i>GRÁFICA 22. COLIFORMES FECALES EN EL ARROYO LA GARITA, TEMPORADA DE LLUVIAS, ACAPULCO GRO 2008.</i>                 | - 99 -  |
| <i>GRÁFICA 23. COLIFORMES FECALES EN EL ARROYO COSTA AZUL, TEMPORADA DE LLUVIAS, ACAPULCO GRO 2008.</i>                | - 100 - |
| <i>GRÁFICA 24. ENTEROCOCOS FECALES EN EL ARROYO AGUAS BLANCAS, TEMPORADA DE LLUVIAS, ACAPULCO GRO 2008.</i>            | - 104 - |



|  |         |
|--|---------|
| GRÁFICA 25. ENTEROCOCOS FECALES EN EL ARROYO EL CAMARÓN, TEMPORADA DE LLUVIAS, ACAPULCO GRO 2008. ....                       | - 105 - |
| GRÁFICA 26. ENTEROCOCOS FECALES EN EL ARROYO LA GARITA, TEMPORADA DE LLUVIAS, ACAPULCO GRO 2008. ....                        | - 106 - |
| GRÁFICA 27. ENTEROCOCOS FECALES EN EL ARROYO COSTA AZUL, TEMPORADA DE LLUVIAS, ACAPULCO GRO 2008. ....                       | - 107 - |
| GRÁFICA 28. COLIFORMES FECALES EN PLAYAS DE ACAPULCO GUERRERO, 2008. ....  | - 111 - |
| GRÁFICA 29. ENTEROCOCOS FECALES EN PLAYAS DE ACAPULCO GUERRERO, 2008. ....   | - 113 - |
| GRÁFICA 30. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE COLIFORMES FECALES EN LA BAHÍA RED NACIONAL DE MONITOREO, PARTE 1. .... | - 120 - |
| GRÁFICA 31. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE COLIFORMES FECALES EN LA BAHÍA RED NACIONAL DE MONITOREO, PARTE 2. .... | - 121 - |
| GRÁFICA 32. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE COLIFORMES FECALES EN LA BAHÍA RED NACIONAL DE MONITOREO, PARTE 3. .... | - 122 - |
| GRÁFICA 33. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE COLIFORMES FECALES EN LA BAHÍA RED NACIONAL DE MONITOREO, PARTE 4. .... | - 123 - |
| GRÁFICA 34. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN LAS PLAYAS LIMPIAS SEMARNAT, 2004 PARTE 1. ....  | - 126 - |
| GRÁFICA 35. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN LAS PLAYAS LIMPIAS SEMARNAT, 2004 PARTE 2. ....  | - 127 - |
| GRÁFICA 36. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN LAS PLAYAS LIMPIAS SEMARNAT, 2005 PARTE 1. ....  | - 128 - |
| GRÁFICA 37. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN LAS PLAYAS LIMPIAS SEMARNAT, 2005 PARTE 2. ....  | - 129 - |
| GRÁFICA 38. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN LAS PLAYAS LIMPIAS SEMARNAT, 2006 PARTE 1. ....  | - 130 - |
| GRÁFICA 39. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN LAS PLAYAS LIMPIAS SEMARNAT, 2006 PARTE 2. ....  | - 131 - |
| GRÁFICA 40. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN LAS PLAYAS LIMPIAS SEMARNAT, 2007 PARTE 1. ....  | - 132 - |
| GRÁFICA 41. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN LAS PLAYAS LIMPIAS SEMARNAT, 2007 PARTE 2. ....  | - 133 - |
| GRÁFICA 42. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN LAS PLAYAS LIMPIAS SEMARNAT, 2008 PARTE 1. ....  | - 134 - |
| GRÁFICA 43. COMPORTAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN LAS PLAYAS LIMPIAS SEMARNAT, 2008 PARTE 2. ....  | - 135 - |

## FOTOGRAFÍAS

|  |               |
|--|---------------|
| <i>FOTOGRAFÍA 1. DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES PROVENIENTE DE LA PTAR “AGUAS BLANCAS” SOBRE PLAYA OLVIDADA, ACAPULCO GRO.....</i> | <i>- 16 -</i> |
| <i>FOTOGRAFÍA 2. SITIO DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES SOBRE PLAYA OLVIDADA, ACAPULCO GRO. ....</i>                           | <i>- 16 -</i> |
| <i>FOTOGRAFÍA 3. MEDICIÓN DE CAUDAL Y PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA SALIDA DE LA DESCARGA DEL ARROYO AGUAS BLANCAS. ....</i>                  | <i>- 29 -</i> |
| <i>FOTOGRAFÍA 4. MEDICIÓN DE CAUDAL Y PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA SALIDA DE LA DESCARGA DEL ARROYO LA GARITA. ....</i>                      | <i>- 30 -</i> |
| <i>FOTOGRAFÍA 5. MEDICIÓN DE CAUDAL Y PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA SALIDA DE LA DESCARGA DEL ARROYO EL CAMARÓN. ....</i>                     | <i>- 31 -</i> |
| <i>FOTOGRAFÍA 6. MEDICIÓN DE CAUDAL Y PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA SALIDA DE LA DESCARGA DEL ARROYO LA GARITA. ....</i>                      | <i>- 32 -</i> |

## Título

# ***“Evaluación del impacto de la contaminación puntual y difusa en la bahía de Acapulco Guerrero.”***

## **1.- Estado del arte**

En la primera mitad del siglo pasado, el deterioro de la calidad del agua en zonas urbanas estuvo asociado con las fuentes puntuales de industrias, operaciones comerciales y descargas domésticas; sin embargo, no fue sino hasta la década de los años 70, cuando se observó que una parte significativa de la contaminación de las zonas urbanas era originada a partir de fuentes no puntuales. Las fuentes no puntuales han sido identificadas por la USEPA como la mayor causa de contaminación de cuerpos de agua superficiales.<sup>1</sup>

No es la tierra o el uso de la misma por sí, la causa de la contaminación de los cuerpos receptores; la contaminación se origina por varios procesos y actividades que ocurren en la tierra. Los procesos que son la mayor causa de la contaminación difusa en regiones urbanas son la contaminación contenida en la precipitación, la erosión y permeabilidad del suelo, la acumulación y la deposición atmosférica de polvo y material particulado, su respectivo lavado en época de lluvias y su acumulación en sistemas de alcantarillado, la inadecuada disposición de residuos sólidos que generan lixiviados, la aplicación de fertilizantes y productos agroquímicos, las interconexiones de los sistemas de alcantarillado urbano e industrial, etc.

La degradación de la calidad de los recursos hídricos es la resultante de la contaminación que afecta los cuerpos de agua, ya sean contaminantes originados por fuentes puntuales, como descargas industriales o domésticas; o por fuentes de origen difuso, como los generados por actividades urbanas o rurales (fertilizantes, agrotóxicos, combustibles, solventes, etc.). La calidad del agua debe ser el objetivo fundamental de un programa de manejo de cuencas hidrológicas. Las soluciones técnicas para reducir la contaminación de origen puntual, a pesar de sus altos costos, son más fácilmente aplicables y dan resultados satisfactorios ya comprobados en los países desarrollados. Por otro lado, el impacto de las fuentes difusas ha sido muchas veces subestimado, pues este tipo de contaminación es aparentemente imperceptible; sin embargo es el mayor responsable de la degradación de la calidad del agua en muchas regiones del planeta. Las fuentes de contaminación difusa, debido a su carácter estacional y amplio (debido a sus grandes áreas), son más difíciles de identificar y cuantificar, pues involucran el manejo de toda la cuenca.

En la actualidad, el problema de la contaminación en México no está caracterizado, no existe un diagnóstico que refleje la magnitud del aporte de los escurrimientos de aguas pluviales hacia los cuerpos receptores. Mientras que en países desarrollados, se han llevado a cabo estudios que muestran que el riesgo de estos contaminantes de origen no puntual es en muchas ocasiones de mayor importancia que el riesgo que representan las fuentes puntuales, ya que las escorrentías superficiales de origen urbano, son el producto de los contaminantes entre dos eventos de lluvias consecutivas, que arrastran o lavan la acumulación del material depositado en una superficie, el cual está relacionado con la intensidad de la precipitación, las características de la superficie

impermeables y el tamaño de este material. Los cuales son el reflejo de la calidad de los aportes de estos flujos no puntuales a cuerpos receptores.

La contaminación difusa o no puntual, es aquella fuente de contaminación que se encuentra asociada a los diferentes usos del suelo y del agua, en una determinada cuenca; en donde debido a los fenómenos de transporte, se movilizan y transfieren los contaminantes entre las compartimentos ambientales, como son el suelo, el agua y la atmósfera; teniendo efectos a diferentes escalas temporales que deterioran o modifican la calidad de los cuerpos de agua. El conocimiento de la distribución geográfica del uso de suelo, agua y demás temáticas, nos permite reconocer y modelar los fenómenos de transporte de contaminantes dentro del área de estudio. En el caso de las fuentes difusas urbanas, las principales fuentes de contaminación son entre otras, las descargas municipales, las emisiones de gases provenientes de la carga vehicular, los escurrimientos urbanos, fosas sépticas, etc.

El concepto de contaminación difusa incluye una gama de actividades tanto urbanas como industriales, agrícolas, pecuarias, forestales, mineras, etc. Así mismo, se puede considerar que las prácticas de descargas directas de efluentes domésticos e industriales sin tratamiento hacia cuerpos receptores, prácticas agrícolas y sistemas de irrigación no adecuados, constituyen de igual forma fuentes no puntuales de contaminación.

La contaminación difusa, es difícil de dirigir y controlar; puede ser local y/o regional. Las definiciones recientes de la contaminación difusa han intentado superar la ambigüedad de las definiciones clásicas puntuales y no puntuales. La categoría de contaminación difusa incluye la contaminación de fuentes realmente no puntuales (como la filtración de nitrato en regiones agrícolas hacia aguas subterráneas subyacentes, contaminación de campos de cultivo y ganadera, o deposición atmosférica), desagües de campo, de tierra de cultivo y la escorrentía de superficie urbana al ambiente acuático.

La movilización de contaminantes está a menudo en función de las condiciones de clima y puede ser influida en por el tipo de tierra y tipo de suelo. Simplistamente, las fuentes de contaminación difusas podrían ser por separado menores, pero colectivamente más importantes debido a su distribución en una manera difusa durante todo momento.

La contaminación difusa debe ser diferenciada de la disolución de minerales de tierra, la erosión natural y de cargas naturales de químicos o el contenido natural del deslave. Sin embargo, antes de que la contaminación difusa se haga un problema regional mundial o a gran escala, que afecta mares; es un problema local que afecta ríos pequeños y lagos. Se manifiesta por un déficit del uso del recurso y del valor de cuerpos de agua de superficie locales y acuíferos.

Las áreas urbanas son una gran fuente de contaminación difusa debido a que las grandes áreas impermeables de construcciones y calles no permiten la infiltración de agua, por lo que ésta permanece en la superficie, se acumula y escurre en grandes cantidades, alcanza las galerías pluviales, gana velocidad y cuando abandona el sistema alcanza el río con gran volumen, erosionando sus márgenes y expandiendo los canales. Las zonas urbanas también suelen aumentar la variedad y cantidad de los contaminantes transportados, como sedimentos de áreas en construcción, aceites, químicos tóxicos, nutrimentos, pesticidas, patógenos de sistemas sépticos, metales pesados, etc.

La generación de contaminación difusa en áreas urbanas es completamente diferente a la contaminación difusa proveniente de áreas rurales, debido principalmente a que en las áreas urbanas existe una gran superficie de suelo impermeable, que provoca alteraciones en la actividad hidrológica, los escurrimientos son mayores y la infiltración generalmente guarda una relación directamente proporcional con el grado de impermeabilización de la superficie; los niveles de aguas subterráneas se ven afectados, ya que la urbanización de zonas demanda una gran cantidad de agua subterránea, de igual forma, el factor de erosionabilidad del suelo se afecta debido a la alteración de la cobertura del suelo y los usos que se le den al mismo; las cantidades de material depositado en el suelo frecuentemente no es removido a lo largo de un ciclo anual y es cuando las primeras lluvias que se ve lavado el suelo y se transporta todo ese material a los cuerpos de agua.

Por otra parte, los sistemas de conducción de aguas residuales (redes de drenaje) frecuentemente se encuentran en mal estado, las descargas domésticas que son vertidas directamente a barrancas y cauces naturales, son una importante fuente de contaminación difusa.

Dentro de los principales contaminantes que se asocian a la contaminación difusa son los nutrientes (nitrógeno y fósforo principalmente), plaguicidas, compuestos orgánicos, sedimentos, especies químicas inorgánicas como metales pesados y organismos patógenos.

Se ha demostrado a través de muchos estudios, la habilidad de los escurrimientos naturales de agua pluvial para ser factores de transporte de grandes concentraciones de organismos fecales así como formas de nitrógeno y fósforo derivados de las actividades agrícolas, pecuarios y urbanas.<sup>2</sup>

Las formas de nitrógeno y fósforo, resultan de mucho interés cuando se trata de la evaluación de la calidad de las aguas costeras colindantes a centros urbanos, industriales o de producción agrícola; ya que estos indican la presencia de procesos de eutrofización que pueden desencadenar fenómenos extremos como floraciones algales o “blooms” de algunas especies tales como las mareas rojas.

Los organismos patógenos, tales como los organismos coliformes fecales, han sido utilizados desde hace mucho tiempo como indicadores de calidad del agua marina para recreación y contacto primario. Aunque de acuerdo con trabajos realizados por Cabelli<sup>3</sup> se ha demostrado que para este tipo de aguas costeras en las cuales existe el uso recreativo con contacto primario, a través de relaciones cuantitativas entre el riesgo de enfermedad y el nivel de organismo indicador *Enterococo*, este último es un mejor indicador de la calidad del agua.

Históricamente, las primeras evaluaciones concernientes a recreación de contacto primario y la incidencia de enfermedades, se llevaron a cabo por la Asociación Americana de Salud Pública que en los primeros años de la década de los 20, dichos estudios condujeron a la afirmación de la prevalencia de enfermedades infecciosas que pueden contagiarse en piscinas y otros lugares de recreación. Como se ha reportado, la primera aplicación efectiva de guías bacteriológicas al agua de mar se puede atribuir a un estudio de polución del Puerto de New Haven, en los Estados Unidos, en donde se atribuyó la fiebre tifoidea al nadar en aguas altamente contaminadas, de allí que la densidad de coliformes en aguas de recreación de contacto primario

no debe exceder de 100NMP/100 mL. Sin embargo, no se dio ninguna base lógica para esta cifra. En 1930 se sugirió un número máximo permisible de coliformes de 10,000 por 100 mL.

Posteriormente Cabelli reporta que el límite de coliformes totales para los Estados Unidos de 1000NMP/100 mL “*se desarrolló aparentemente de dos fuentes: el riesgo predicho de salmonelosis de acuerdo a cálculos hechos sobre la incidencia de especies de Salmonella en aguas de recreación de contacto primario y fue determinado por medio de monitoreos microbiológicos conducidos en las playas de Connecticut*”. Este estándar de Connecticut fue entonces adoptado por muchas otras agencias estatales de Estados Unidos.

Estudios epidemiológicos dirigidos directamente a determinar los riesgos para la salud como consecuencia de bañarse en aguas contaminadas, se llevaron a cabo durante los años 1948-1950 por el Servicio Público de Salud de Estados Unidos. Los resultados demostraron que había efectos epidemiológicos a la salud estadísticamente significativos, detectables a niveles de 2300 y 2700 coliformes/100 ml, en estudios del lago Michigan en Chicago (1948) y del río Ohio en Dayton, Kentucky (1949), respectivamente.

Sin embargo, en 1972, el comité sobre Criterios de Calidad de Agua de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, en un proyecto con fondos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), llegó a la siguiente conclusión: "No se hace ninguna recomendación específica concerniente a la presencia o concentración de microorganismos en aguas de recreación debido a la insuficiencia de datos epidemiológicos válidos".

La guía final propuesta por la USEPA era la siguiente: "basado en un mínimo no menor de cinco muestras tomadas en un período no mayor a 30 días, el contenido de coliformes fecales de agua de recreación de contacto primario no debe exceder un promedio logarítmico de 200/100 mL, así como no más del 10% de las muestras totales durante cualquier período de 30 días deben sobrepasar 400/100 ml".

En 1974, la Organización Mundial de la Salud (OMS) convocó a una reunión de trabajo a un grupo de expertos europeos sobre Guías y Criterios de Calidad para Recreación en Playas y Aguas Costeras en Holanda; llegando a la conclusión que los límites superiores recomendados para organismos indicadores deberían expresarse en términos globales de órdenes de magnitud en vez de términos rígidos de niveles específicos. Sin embargo, las áreas de recreación altamente satisfactorias deberán mostrar consistentemente colonias de *E. coli* menores de 100 por 100 mL y para ser consideradas aguas aceptables para recreación de contacto primario, no se deben encontrar colonias mayores a 1000 *E. coli* por 100 mL.

La USEPA en 1984 presentó por primera vez la recomendación para que los Estados tomen los Enterococos como los principales organismos indicadores de contaminación para áreas de recreación en lugar de los indicadores aplicados en ese momento (principalmente coliformes totales y fecales), además de proponer que los futuros niveles de riesgo sean iguales a aquéllos actualmente aceptados para aguas dulces y marinas. Por lo tanto, los criterios propuestos eran los siguientes:

|               |   |
|---------------|---|
| Aguas dulces  | < 20 Enterococos/100 mL. o 77 <i>E. coli</i> /100 mL. |
| Aguas marinas | < 3 Enterococos/100 mL.                               |

Aunque para 1986, la misma USEPA adoptó los siguientes criterios nuevos mismos que se utilizan hasta la fecha:

|                |  |
|----------------|--|
| Aguas dulces:  | <i>E. coli</i> - no debe exceder 126/100 mL. |
|                | Enterococos - no deben exceder 33/100 mL.    |
| Aguas marinas: | Enterococos - no deben exceder 35/100 mL.    |

Los requisitos actuales de calidad para recreación para la Comunidad Económica Europea que se publicaron en 1996 son los siguientes:

|                               | Guía <sup>1</sup> | Obligatorio <sup>2</sup> | Muestreo  |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------|-----------|
| <i>E. coli</i> /100 mL.       | 100               | 2000                     | Quincenal |
| Estreptococos fecales/100 mL. | 100               | 400                      | Quincenal |
| Enterovirus PFU/10 L          | 0                 |                          | Mensual   |

80% de las muestras menores a  
95% de las muestras menores a

En noviembre 1998 un grupo de expertos de la Organización Mundial de la Salud, la Comisión de las Comunidades Europeas y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, se encontraron en Annápolis, USA, para considerar en un acuerdo, un nuevo enfoque mejorado para regular el agua recreativa que refleja riesgos a la salud. El acercamiento dio como resultado el "Protocolo de Annápolis". Publicado en 1999, cubriendo enfoques que involucran tanto una valoración de peligro ambiental como de calidad de agua microbiológica.<sup>4</sup>

Existen guías para la evaluación de riesgos en aguas recreacionales, editadas por el Consejo de Investigación Médica y Salud Nacional Australiano<sup>5</sup>, el cual tiene por objetivo principal el proteger la salud de los seres humanos contra las amenazas planteadas por el uso recreacional de aguas costeras, estuarios y aguas dulces, siendo éstas, utilizadas como herramienta para verificar que estos ambientes recreacionales sean manejados de la forma más segura posible, de modo que el aprovechamiento de estos recursos hídricos sean lo más eficientes posible. Estas guías no son de carácter obligatorio, pero se han desarrollado como herramientas para que los gobiernos desarrollen una legislación y estándares apropiados para las condiciones y circunstancias locales. Estas guías incluyen un acercamiento preventivo de la gestión de los recursos hídricos con rubro recreacional, que se centran en desarrollar una comprensión de las influencias y riesgos potenciales que confluyen en un cuerpo de agua con uso recreacional.

Este acercamiento provee información de las influencias locales de la calidad del agua recreacional, así como información numérica de los niveles de contaminantes. Estos resultados pueden ser utilizados con la finalidad de:

- Clasificación de playas, para ayudar en la elección personal.
- Proporcionar información o guías a los usuarios acerca del sitio y de la seguridad al usar el recurso con fines recreativos.
- Ayudar a identificar y promover herramientas eficaces de gestión.
- Proveer una base de requerimientos regulatorios, así como la evaluación de dichos requerimientos.

Esos programas deben basarse en un código de buenas prácticas para el control de aguas recreativas. Para proteger la salud pública, a menudo será necesario desarrollar programas para la

vigilancia de varios aspectos (seguridad en la playa, control de la contaminación, etc.) en paralelo. Estas directrices sugieren un sistema de seguimiento de tres niveles, cada uno de los grupos de riesgos graves se tratan en cada nivel de supervisión.

Los niveles propuestos son:

- Modo de Vigilancia (nivel verde) - este nivel consiste en un muestreo de rutina para medir los contaminantes (por ejemplo, físicos, microbiológicos, cianobacterias y algas).
- El modo de alerta (nivel naranja) - este nivel requiere una investigación sobre las causas de niveles elevados de contaminantes y un mayor muestreo para permitir una evaluación más precisa de los riesgos a los usuarios.
- El modo de acción (nivel rojo) - este nivel requiere la autoridad del gobierno local y las autoridades sanitarias para advertir al público de que la masa de agua se considera no apta para uso recreativo.

Estas guías, introducen el concepto de clasificación de cuerpos de agua, en función de su idoneidad para el uso recreativo, basado en la contaminación con microorganismos patógenos, cianobacterias y algas; pudiendo ser clasificados mediante la combinación de una categoría de inspección sanitaria, con la categoría de evaluación de la calidad microbiológica del agua.

De igual forma, se establece que el agua recreativa y las áreas adyacentes, deberán estar libres de riesgos físicos, como objetos flotantes o sumergidos que pudiesen ocasionar a lesiones, de forma siendo estos considerados razonablemente y manteniendo señalización de riesgos presentes en las áreas que así lo requieran.

También, estas guías establecen los criterios para la aceptación de la utilización de aguas con fines recreativos, siendo inadecuados los sitios en donde el agua tenga contacto con especies químicas tóxicas y/o irritantes de la piel y mucosas, debiendo mantener un pH en un rango de entre 6.5 a 8.5 y una concentración de oxígeno disuelto (porcentaje de saturación) mayor al 80%. Este tipo de riesgos químicos son los menos frecuentes, debido a la disolución o atenuación de los productos químicos, además las exposiciones crónicas son muy poco probables.



## 2.- Antecedentes

De acuerdo con los datos reportados por la SEMARNAT, en el año 2002 casi un 25% de las playas mexicanas evaluadas, presentaron bajos índices de calidad del agua. Este estudio hace referencia a que este decremento en la calidad del agua en las zonas costeras con uso recreativo y de contacto primario se debe en gran medida a una falta de tratamiento y disposición de las aguas residuales en los centros urbanos. El aumento del turismo en las regiones costeras mexicanas beneficia los aspectos económicos al mismo tiempo que ocasiona un daño en la ecología costera, afectando tanto las pesquerías comerciales, los ecosistemas acuáticos y las actividades socioeconómicas.<sup>6</sup>

La actividad turística en nuestro país es una de las principales generadoras del desarrollo económico, por lo cual es sumamente importante la preservación de los lugares de mayor atractivo turístico. El crecimiento demográfico es uno de los principales problemas que influyen en el deterioro de las condiciones naturales y modifican el ambiente. El uso de los recursos hídricos para fines recreativos plantea problemas si se tiene en cuenta que precisamente en los asentamientos de máxima concentración poblacional e industrial donde surgen los mayores requerimientos de medios de esparcimiento por parte de una población siempre creciente; además de que la calidad bacteriológica del agua para bañarse no necesita ser tan alta como para beberla, pero debería ser mantenida razonablemente libre de bacterias de origen patógeno en aguas residuales. Sin embargo, hay algunas razones para determinar ciertos criterios bacteriológicos en aguas para bañarse, basados en la probabilidad de infección, dado que las enfermedades infecciosas son uno de los riesgos para la salud más común y que llevan consigo la ingestión del agua contaminada. Si bien, algunos de los brotes de enfermedades de transmisión hídrica más numerosos y graves que han sido notificados, se deben al consumo de agua de bebida, se han registrado también varios casos donde las aguas recreacionales protagonizaron un papel importante en la transmisión de dichos agentes patógenos.

Como consecuencia del uso de las aguas y el desarrollo urbano, la contaminación generada minimiza la integridad de los cuerpos de agua. La contaminación es entonces transportada de la fuente hacia el cuerpo de agua por tierra o vía acuíferos poco profundos. Los cuerpos de agua son usados para muchos propósitos, incluyendo la protección de vida acuática y la propagación, el contacto y el esparcimiento, la provisión de agua, la navegación, el transporte y traspaso de agua residual.

Los SIG son herramientas muy eficaces que permiten la simulación o modelación para la evaluación de las fuentes de contaminación tanto puntuales como no puntuales o difusas, así como para proponer acciones correctivas de las cargas contaminantes que son transportadas a través de los cuerpos de agua, que reciben los aportes de estas fuentes.

Este tipo de herramientas informáticas, permiten la estructuración de datos geográficos de diferentes temáticas a relacionar y que facilitan la descripción de las características y procesos que determinan el flujo y transporte de sedimentos, nutrientes y organismos patógenos a nivel de cuenca.

Estas herramientas de SIG, permiten hacer la modelación del comportamiento de estos contaminantes, mediante la creación de varios escenarios, a fin de poder tomar decisiones e

implementar estrategias de restauración y conservación de la calidad de los cuerpos de agua; así como también de la salud pública y optimizar sistemas de irrigación en zonas agrícolas. En la actualidad, en muchos países desarrollados se tienen programas que permiten la cuantificación de la medida en la que sus cuerpos de agua son afectados por contaminación difusa, cuentan también con programas de manejo con la finalidad de controlar la contaminación de sus recursos por fuentes difusas, lo cual muchas veces implica la modificación intensiva estructural de los sistemas de drenaje y la reducción de las cargas contaminantes.

Desde hace algunos años, el empleo de este tipo de herramientas se ha incrementado, sobre todo en países en donde los sistemas de tratamiento de sus efluentes son lo suficientemente avanzados para el control de la contaminación con el objetivo de mejorar la calidad de sus cuerpos de agua superficiales y subterráneos. En contraste, en otros países en donde aun no se cuenta con una adecuada tecnificación para el control de sus fuentes de contaminación a nivel urbano y rural, el empleo de este tipo de herramientas no ha sido difundido para su empleo.

Como resultado de investigaciones en los años 70 y parte de los 80's, un gran número de modelos fueron desarrollados por varias agencias, universidades e investigadores de todo el mundo para la modelación de contaminación. Esto con la finalidad de proponer nuevos sistemas orientados a la aplicación para el tratamiento y restauración de sistemas hidrológicos.

Todos los modelos pueden ser representados por la "caja negra". El modelo, es solo una estructura simplificada de las interacciones y reacciones que ocurren en un sistema real. Las variables que describen el estado físico del sistema se denomina "sistema de parámetros", las variables que consideran este tipo de modelos para la simulación de los procesos ambientales que intervienen en el transporte de contaminantes son el tamaño de la cuenca y sus escurrimientos, características fisiográficas, erosionabilidad, textura de suelo, temperatura ambiental, radiación solar, cobertura vegetal, lluvia, humedad atmosférica, registros climatológicos, cargas de nutrientes estimadas, población y división municipal, entre otras.

El modelo informático GWLF (Generalized Watershed Loading Function), fue desarrollado a mediados de los años 80's por Haith y Shoemaker. Y la incorporación de este modelo a un Sistema de Información Geográfica ArcView, la realizó personal de la Universidad de Pensilvania.<sup>7</sup>

Este modelo, ha sido aplicado en diferentes cuencas en EUA y México, demostrando su confiabilidad, ha recibido apoyo por parte de la USEPA. En México, el IMTA, ha realizado estudios de contaminación difusa principalmente en cuatro cuencas del país, mediante el empleo del modelo GWLF (Río Apatlaco - subcuenca del Río Balsas, Lago de Cuitzeo y Lago de Pátzcuaro – pertenecientes a la cuenca del Río Lerma).<sup>8</sup>

El programa, simula el transporte de sedimentos y cargas de nutrientes a partir de datos de uso del suelo, de áreas urbanas y aguas subterráneas; incluye algoritmos para calcular las cargas de sistemas sépticos, mediante simulaciones continuas, proporciona estimaciones mensuales y anuales de los aportes de sedimentos, nutrientes y organismos patógenos.

Los SIG son útiles para caracterizar las relaciones espaciales características de los cuerpos de agua, de una manera que permite adquirir mucha más información de los datos que

pueden ser obtenida de ellos en forma de bases de datos distintas. Relaciones espaciales entre las ubicaciones de la contaminación, los orígenes, los usos, los datos de calidad de agua, las tendencias en la población y el desarrollo, la infraestructura, climatología los tipos de suelo y cualquier otro dato que puede ser representado gráficamente, además de los datos de calidad de agua que pueden ser incluidos en un SIG.

La modelación de base física o empírica, es una herramienta de importancia estratégica que permite comparar rápidamente situaciones alternativas de uso de suelo y sus impacto<sup>9</sup>. Los modelos de simulación, una vez calibrados para condiciones específicas, son herramientas muy útiles en un primer análisis de las buenas prácticas de manejo de cuencas. Con la difusión de los SIG, se han desarrollado versiones integradas en SIG con una capacidad mayor de edición y análisis de datos.

En estudios sobre la contaminación de bahías, se ha determinado que las éstas son el punto final de captación de todas las aguas territoriales de lluvia y en el mayor de los casos, las aguas están cargadas de desechos domésticos, lodos provenientes de sistemas sépticos y aguas residuales que colaboran en gran parte en la contaminación de las bahías y zonas costeras<sup>10</sup>. El ecosistema marino, es por lo tanto, muy susceptible a sufrir graves daños en aspectos tales como riesgos a la salud humana, atribuibles a la contaminación bacteriológica, daños ecotoxicológicos así como desequilibrios económicos<sup>11</sup>. De acuerdo con esta información, el contacto de las aguas residuales sin tratar con los elementos de los ecosistemas acuáticos genera condiciones de peligro, el cual no está restringido a la existencia de sustancias peligrosas y que tienen la característica de potencializar los efectos sobre el medio ambiente y la población<sup>12</sup>. La noción de este peligro está vinculada con la posibilidad de una sustancia química, debido a sus propiedades intrínsecas o sus características, puedan ser perjudiciales para el ser humano y el ambiente en las condiciones de exposición.<sup>13</sup>

Existen diversos estudios de aplicación sobre modelización de la contaminación difusa, como es el caso del modelo Henares que fue aplicado para estimar el impacto de fertilizantes nitrogenados en usos agrícolas, además de que ha sido adaptado para las condiciones geográficas, climatológicas, geológicas usos de tierra y demás temáticas para llevar a cabo la modelación de la cuenca Guaraní, tomando en cuenta aspectos geológicos e hidrogeológicos, climatológicos y de análisis químicos de agua de fuentes de abastecimiento y río. Calibrando y validando el modelo con estos datos se obtuvieron resultados para su aplicación a la cuenca del río Henares, con el cual se efectuó una proyección al año 2060 y estimando que para ese periodo, las aguas del acuífero superarían el límite de 50mg/L de contaminación nítrica.<sup>14</sup>

Otro modelo que ha sido utilizado en varios trabajos es el AnnAGNPS, para caracterizar la transferencia de sustancias tales como herbicidas al agua de escorrentía bajo distintas alternativas de manejo de suelo, analizando el control hidrológico, la transferencia de sustancias desde el suelo al agua de escorrentías superficiales y cuantificando las fracciones de herbicida disuelto y asociado al sedimento en el flujo de las corrientes. En este estudio, los resultados que se obtuvieron mostraron una evaluación adecuada de las tendencias en la transferencia de sustancias, pero cabe hacer mención que en dicho trabajo, al final de este procedimiento, sugieren efectuar mas medidas de campo para la calibración y validación de los resultados.<sup>15</sup>

El modelo AnnAGNPS, ha sido empleado ampliamente en este tipo de estudios, debido a su relativa sencillez y razonable precisión en la simulación de los procesos estudiados. Se realizó la aplicación del modelo hidrológico y de contaminación difusa a una pequeña cuenca (189 ha), que tiene uso mayoritario en agricultura de riego. La cuenca de estudio pertenece la Zona Regable de la Campiña de Idanha en Portugal a lo largo de los años hidrológicos 2004/2005 y 2005/2006, en donde se evaluó la concentración media de contaminantes, sedimentos y nitrógeno, así como el hidrograma diario en la sección de control de la cuenca, para determinar la carga contaminante. La concordancia de los datos de escurrimiento observados en la sección de control de la cuenca con los datos simulados, confirman su capacidad como herramienta de predicción hidrológica en la cuenca. Sin embargo, este ajuste no es bueno en el caso de los sedimentos y en el del nitrógeno.<sup>16</sup>

En el caso de Acapulco, existen numerosos trabajos de investigación sobre calidad del agua, llevados a cabo por instituciones educativas y gubernamentales. Como ejemplo de esto, existe el trabajo de tesis de maestría en Desarrollo Regional, de la U.A.G. que presentó el QBP Juan José Dimas Mojarro<sup>29</sup>, efectuado de Diciembre 2004 a Diciembre 2006 que abordó la determinación de la calidad microbiológica de los arroyos de las 12 cuencas, en donde de acuerdo con los resultados obtenidos se observa que la cuenca más contaminada en lo bacteriológico, parasitario y micológico fue Aguas Blancas, si bien; el contenido máximo de coliformes fecales rebasa la norma en toda temporada, su presencia indica la potencial contaminación biológica del agua de estos cauces pluviales. La procedencia de los coliformes fecales es tanto de contaminación por heces de los animales domésticos, por heces humanas y desechos líquidos y residuos sólidos de casas particulares como del mercado central (resultado de que se vierten los desechos en los drenajes).

El resto de las cuencas varía de abundante a escasa contaminación, rebasando la norma oficial de 1000 NMP/100ml, lo que coincide con otros estudios realizados en la subcuenca Michoacán, que revelaron la presencia de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, (relacionado con excretas de animales de sangre caliente y que es indicativo de una contaminación fecal reciente y constante) en proporciones cercanas o mayores al 50%. La cuenca con menor contaminación microbiológica fue Base Naval que no rebasó la NOM-001-Semarnat-1996.

De igual forma en estudios anteriores sobre la calidad microbiológica de la bahía de Acapulco, se puede observar que dichos arroyos tienen una importante aportación de carga hidráulica como se muestra a continuación.

Tabla 1. Ecurrimiento anual estimado de las subcuencas de Acapulco Gro.

| Subcuenca     | Área (ha) | Ecurrimiento anual (m <sup>3</sup> ) |
|---------------|-----------|--------------------------------------|
| Aguas blancas | 1,033     | 5,109,480                            |
| Camarón       | 1,149     | 5,729,220                            |
| Magallanes    | 317.6     | 1,942,590                            |
| Costa Azul    | 784.7     | 3,462,870                            |
| Garita        | 693.7     | 3,265,790                            |
| Deportivo     | 107       | 1,013,520                            |
| Icacos        | 573.9     | 1,844,050                            |
| TOTALES       | 4658.9    | 22,367,530                           |

De acuerdo con esta información se eligieron las 4 subcuencas (aguas Blancas, El Camarón, La Garita y Costa azul) que en conjunto, poseen más del 50% del aporte hidráulico de la cuenca global; además de ser estas las 4 principales subcuencas en donde se concentra la mayor densidad urbana y de se tiene mayor problema con el sistema de colección y transporte de aguas residuales.

Existe una base de datos con los resultados de dichos análisis a partir del año 2004 a la fecha; teniendo una periodicidad general mensual en dichos análisis, en los que se encuentran reportadas la concentraciones de Enterococos (NMP/100mL) teniendo como criterio límite la normatividad existente por parte de la Secretaría de Salud, en la cual se establecen dos clasificaciones para uso recreativo y de primer contacto.

|                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| Enterococos NMP/100 mL. | Clasificación de la playa   |
| 0 – 500                 | Apta para uso recreativo    |
| > 500                   | No apta para uso recreativo |

### 3.- Planteamiento del problema

La experiencia de los países desarrollados nos habla del gran esfuerzo económico y cultural que se requiere para preservar la calidad y cantidad del agua que utilizamos. El reto es mayor ya que tiene el dilema de desarrollo y preservación del medio ambiente que se debe resolver con recursos limitados y restricciones técnicas, sociales y políticas; estas últimas debido principalmente que no se da continuidad a los programas de acciones en la alternancia de gestiones públicas, al desconocimiento de la problemática y al manejo ineficiente de los recursos económicos.

Las regiones costeras en donde convergen desarrollos urbanos con importancia en actividades turísticas, pesqueras y/o industriales han sufrido un acelerado crecimiento que no ha tenido aparejada la construcción de la infraestructura requerida para la protección de las aguas costeras. La falta de construcción de sistemas colectores tanto de aguas residuales como pluviales y de sistemas de tratamiento de aguas han impactado ya en forma severa en la calidad del agua de estas regiones.<sup>17</sup>

La ciudad y puerto de Acapulco, en el estado de Guerrero, es uno de los puntos de mayor atracción turística, no solo nacional sino internacional por sus playas; por lo que se debe vigilar la calidad de las aguas de la bahía. Hasta el año de 2005 el registro del segundo conteo de población y vivienda de INEGI estimaba cerca de 718,000 habitantes en la zona metropolitana del municipio de Acapulco de Juárez.<sup>18</sup>

El II conteo de Población y Vivienda 2005 del INEGI arrojó datos acerca de la cantidad de viviendas particulares que cuenta con el servicio de agua potable y drenaje en el municipio; hay 126,856 viviendas que cuentan con el servicio de agua potable de la red pública, mientras que 146,031 viviendas cuentan con servicio de drenaje conectado a la red pública, a fosa séptica, con desagüe a barranca o grieta, con desagüe a río, lago o mar; así mismo, excluye a las viviendas que no especifican si disponen del servicio, representando esto el 31.46% del total estatal, mientras que tan solo el 67.4% es municipal.<sup>18</sup>

Durante el año 2000, el Municipio de Acapulco tuvo una importante afluencia turística de 2,178,416 visitantes nacionales y extranjeros. En el año 2005 este número se incrementó en más de 1,000,000 alcanzando así los 3,775,597 visitantes.<sup>19</sup>

De acuerdo con datos de la CONAGUA, en 2005 el municipio contaba con un total de 32 plantas de tratamiento, 31 de las cuales tienen un sistema de lodos activados convencionales y una con un sistema primario avanzado. En total estas plantas de tratamiento cuentan con una capacidad instalada de 2432.8 L/s tratando 50.5 millones de metros cúbicos/año. 18 de las plantas antes mencionadas son de uso privado y tratan solamente 188.8 L/s. Las 14 plantas operadas por el organismo operador CAPAMA tratan 2244 L/s.<sup>20</sup>

De acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales, de la CONAGUA, el municipio cuenta con 455 fuentes de abastecimiento de agua, clasificados de la siguiente forma; 374 pozos profundos y someros y 81 fuentes diversas como manantiales, ríos, arroyos y lagunas.<sup>21</sup> Además, cuenta con una planta

potabilizadora en operación, con una capacidad instalada de 2,000 Lps (59,918 millones de metros cúbicos/año).<sup>22</sup>

Según Castillo,<sup>23</sup> la problemática ambiental que enfrenta Acapulco se deriva de la influencia directa como polo turístico (aproximadamente 3.7 millones de turistas al año), la falta de diversificación y oferta de empleo, la expansión sobre sistemas naturales considerados como vulnerables; la contaminación de sus aguas a causa de los desechos sólidos y líquidos de centros urbanos y suburbanos; el crecimiento desordenado y sin servicios en los asentamientos irregulares de las partes altas del anfiteatro; la demanda de infraestructura turística y de reserva territorial, la invasión y relleno de manglares y zona de humedales; arrastre de químicos usados en agricultura; así como de los volúmenes de pesca mayores a la capacidad de carga de las lagunas, entre otros. El crecimiento desordenado de los usos del suelo, aparentemente incompatible, ha generado una serie de conflictos ambientales.

El Ayuntamiento Constitucional de Acapulco de Juárez y la Comisión de Agua Potable del Municipio de Acapulco (2006)<sup>24</sup> en el proyecto de saneamiento integral de la bahía de Acapulco, barrancas, ríos y lagunas, indican que las causas del problema para estas zonas son las descargas directas en barrancas, la baja cobertura de alcantarillado y de tratamiento de las aguas residuales, las que causan un impacto negativo en las actividades económicas y productivas, deterioro a los ecosistemas y al ser humano.

La descarga de aguas residuales municipales crudas son vertidas sin tratamiento previo a través de un canal hacia un cuerpo receptor natural, Playa Olvidada (cuerpo receptor tipo A, de acuerdo a la LFD en Materia de Agua, 2009)<sup>25</sup> debido a que la planta de tratamiento de aguas residuales municipales Aguas Blancas se encuentra fuera de operación desde mediados del año 2006 por la falta de mantenimiento, afectando notablemente esta área.

De acuerdo con el estudio antes mencionado, son vertidos aproximadamente 1,200 L/s de aguas residuales directamente sin tratamiento alguno y que los problemas en la infraestructura producen que estas descargas (provenientes de los escurrimientos de los arroyos que cruzan el anfiteatro) tengan altas concentraciones de coliformes fecales y de nutrientes que causan producción excesiva de algas las cuales producen natas flotantes, malos olores y abaten los niveles de oxígeno disuelto en la zona costera; y un alto nivel de materia orgánica favoreciendo el crecimiento de organismos patógenos causantes de enfermedades. En 1997 CONAGUA e IMTA<sup>26</sup> se realizaron un estudio en donde se monitorearon 25 estaciones en la bahía de Acapulco y 10 en descargas continuas de aguas residuales hacia la bahía y como resultado se concluyó que la bahía presentaba concentraciones elevadas en todos los parámetros que se encuentran indicados en los criterios ecológicos para aguas de uso recreativo y de protección a la fauna. Los resultados de la calidad en sedimentos analizados en esta etapa, mostraron que existió contaminación por compuestos metálicos e hidrocarburos poliaromáticos.

Esto podría estar afectar a la calidad del agua de la bahía, ya que debido al transporte de los contaminantes y la carga bacteriológica que son vertidos a través de esa descarga por acción de las corrientes marinas esta mezcla podría afectando la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en las zonas recreativas, de contacto primario y pesqueras cercanas a esta playa en donde está situada la descarga de aguas residuales municipales y su cuerpo receptor.

Se propone aplicar el modelo GLWF en las principales Subcuencas que aportan contaminación difusa a la bahía de Acapulco, integrando un estudio de monitoreo de la calidad del agua de la bahía con la finalidad de obtener datos reales y actuales para efectuar la modelación y así determinar el impacto que la descargas crudas tienen en la bahía y analizar si el efecto de dilución en esta zona de mezcla es suficiente para llevar las concentraciones de microorganismos y nutrientes a niveles seguros para un uso de contacto primario y/o recreacional en las zonas aledañas a esta descarga. De esta manera, se pretende proteger del posible transporte de estas concentraciones provenientes de la descarga de aguas residuales a las zonas recreativas, pesqueras y de contacto primario.



## 4.- Justificación

Los principales problemas que afectan a las aguas de la bahía de Acapulco, son los asentamientos irregulares y recientes desarrollos urbanos los cuales aun no cuentan con los servicios públicos básicos de recolección y disposición de residuos sólidos, aguas residuales sin tratar, que en temporada de lluvias son las principales fuentes de aporte de este tipo de residuos orgánicos e inorgánicos; además hay que considerar que la capacidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales ha sido rebasada.

Diariamente una gran cantidad de aguas residuales son arrojadas sin tratamiento a cielo abierto que desembocan en la bahía o el mar. Estas aguas residuales vienen de once arroyos y riachuelos de las diferentes partes altas de Acapulco y se vierten principalmente en el río de La Sabana, la bahía de Santa Lucía (Bahía de Acapulco) y la laguna de Tres Palos.

Cuando los asentamientos irregulares comenzaron a presentarse en las partes altas de Acapulco, sus habitantes empezaron a descargar aguas negras a cielo abierto, depositando sus desechos en los arroyos y ríos, como es el caso del río Camarón, el arroyo Aguas Blancas, La Garita y otros arroyuelos que a lo largo de la carretera Escénica desembocan en playa del Secreto y Guitarrón (Bahía de Acapulco); así como algunas corrientes superficiales que desembocan en la Laguna de Tres Palos.<sup>27</sup>

El organismo operador CAPAMA, tiene a su cargo nueve plantas de tratamiento con diferentes capacidades cada una. Una de ellas es la planta de "Aguas Blancas" que fue diseñada para operar a una capacidad de 1350L/s. El proceso de tratamiento original correspondía al de un primario convencional, para mediante un emisor, descargar las aguas tratadas en el mar, en la zona de "Playa Olvidada". Posteriormente se construyeron las unidades para la adición de reactivos químicos, para desaguar los lodos producto de este tratamiento mediante filtros banda. La planta cuenta con dos módulos de 675 L/s de capacidad cada uno y se encuentra fuera de operación desde mediados del año 2006 debido a problemas de mantenimiento. Actualmente deriva el influente sin tratamiento mediante un canal abierto a su cuerpo receptor, localizado en la parte poniente de la ciudad de Acapulco Gro.

Esto está impactando gravemente la zona en la cual este efluente está siendo descargado, ya que está alterando la calidad fisicoquímica y microbiológica del cuerpo receptor. Si además de esto se considera el aporte de las escorrentías naturales de la zona en temporada de lluvias y por transporte de corrientes, la afectación en la calidad microbiológica de las zonas turísticas aledañas a este lugar es aún más importante, además de hacerlo estéticamente desagradable y con presencia de malos olores.

Uno de los objetivos del Programa de Inversiones Prioritarias para el Desarrollo Turístico de Acapulco, del H. Ayuntamiento del Municipio de Acapulco de Juárez para reposicionar al puerto como destino turístico, es restablecer las condiciones ambientales y mejorar las condiciones urbanas para propiciar el desarrollo sustentable de la zona, a través de una serie de programas o proyectos. Tres de estos proyectos son: el cambio de proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales "Aguas Blancas", la ampliación de la planta de tratamiento "La Mira" y la rehabilitación de atarjeas y colectores. De igual forma, se indica el mejoramiento de la recolección y disposición final de los desechos sólidos urbanos.

CAPAMA tiene proyectada la ampliación y el cambio del proceso de operación de la planta de tratamiento Aguas Blancas a un proceso biológico, con el cual se espera obtener un efluente de mucho mayor calidad (DBO <10mg/L, Nitrógeno total < 10mg/L y Fósforo total < 2mg/L y concentraciones de organismos patógenos nulo).

Fotografía 1. Descarga de aguas residuales municipales proveniente de la PTAR “Aguas Blancas” sobre Playa Olvidada, Acapulco Gro.



Fotografía 2. Sitio de la Descarga de aguas residuales municipales sobre Playa Olvidada, Acapulco Gro.



## 5.- Objetivos

- Evaluar el transporte y movilización de los principales nutrientes: nitrógeno y fósforo, así como de los organismos patógenos, mediante el empleo del modelo GWLF.
- Evaluar el impacto potencial que los aportes provenientes de los escurrimientos de cuatro microcuencas tienen sobre la calidad del agua de la bahía de Acapulco.

## 6.- Metodología

### 6.1 Área de estudio

El Municipio de Acapulco de Juárez está situado en el estado de Guerrero; representa el 2.6% de la superficie de toda la entidad, es decir, 1,882.6 km<sup>2</sup> y su litoral tiene una longitud de 62 kilómetros que representa el 12.3% de la costa guerrerense. Su territorio colinda al norte con los municipios de Coyuca de Benítez, Chilpancingo de los Bravo y Juan R. Escudero; al este con los municipios Juan R. Escudero y San Marcos; al sur con el municipio de San Marcos y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico y el municipio de Coyuca de Benítez.

El Municipio tiene 272 localidades; las principales por su cantidad en población son Xaltianguis, Kilómetro 30, Tres Palos, Amatillo, San Pedro Las Playas y Lomas de San Juan. Las temperaturas fluctúan de 24° a 33° C. Las lluvias se presentan principalmente en verano, registrando de 1,000 mm a 1,700 mm, por lo que las actividades agropecuarias están hasta cierto punto garantizadas.<sup>28</sup>

Acapulco se localiza en las coordenadas 17° 14' a 16° 41' de latitud norte y 99° 29' a 100° 00' de longitud oeste de Greenwich. La región en estudio se encuentra inserta en la Región Hidrológica No. 19 (Costa Grande). Corresponde a la cuenca del Río La Sabana y a la parte sur de la cuenca del río Coyuca desde la parte norte de la localidad Aguas Blancas hasta la desembocadura del río Coyuca. Los escurrimientos superficiales se distribuyen en las siguientes subcuencas hidrológicas: ríos Potrerillos y Moyoapa, los cuales se unen al río La Sabana; al este se localiza la subcuenca Laguna de Tres Palos y parte de la cuenca del río Coyuca.

El clima predominante en la región de Acapulco es el cálido sub-húmedo, con lluvias en verano. La temporada de lluvias es en los meses de junio hasta septiembre y la temperatura media anual es de 27.6° C. La precipitación promedio anual en Acapulco son de 1,415mm, siendo los meses más lluviosos entre junio y septiembre, en el último mes éstas superan los 300mm, éste valor equivale al 27% con respecto a la precipitación total anual, fenómeno que a su vez provoca inundaciones y deslizamientos de tierras, entre otros, que se incrementan durante la presencia de huracanes.<sup>29</sup>

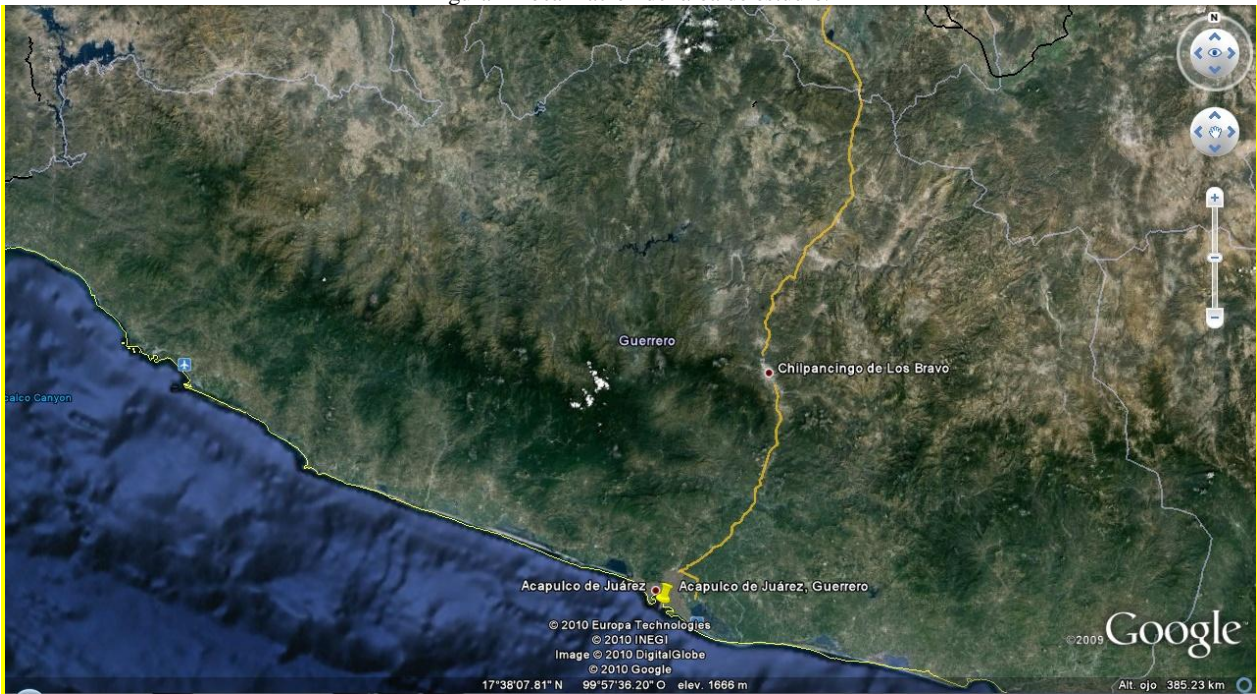
La temperatura máxima promedio anual oscila entre los 30° y los 33°C, mientras que la mínima promedio anual varía de los 22° a los 25°C, en cuanto a la temperatura máxima extrema del mes más caluroso (Mayo) llega a ser de hasta 37°C, en tanto que la temperatura mínima extrema que se registra a lo largo del año es de entre 16 y 17°C, misma que se registra en los meses de Enero a Mayo.<sup>30</sup>

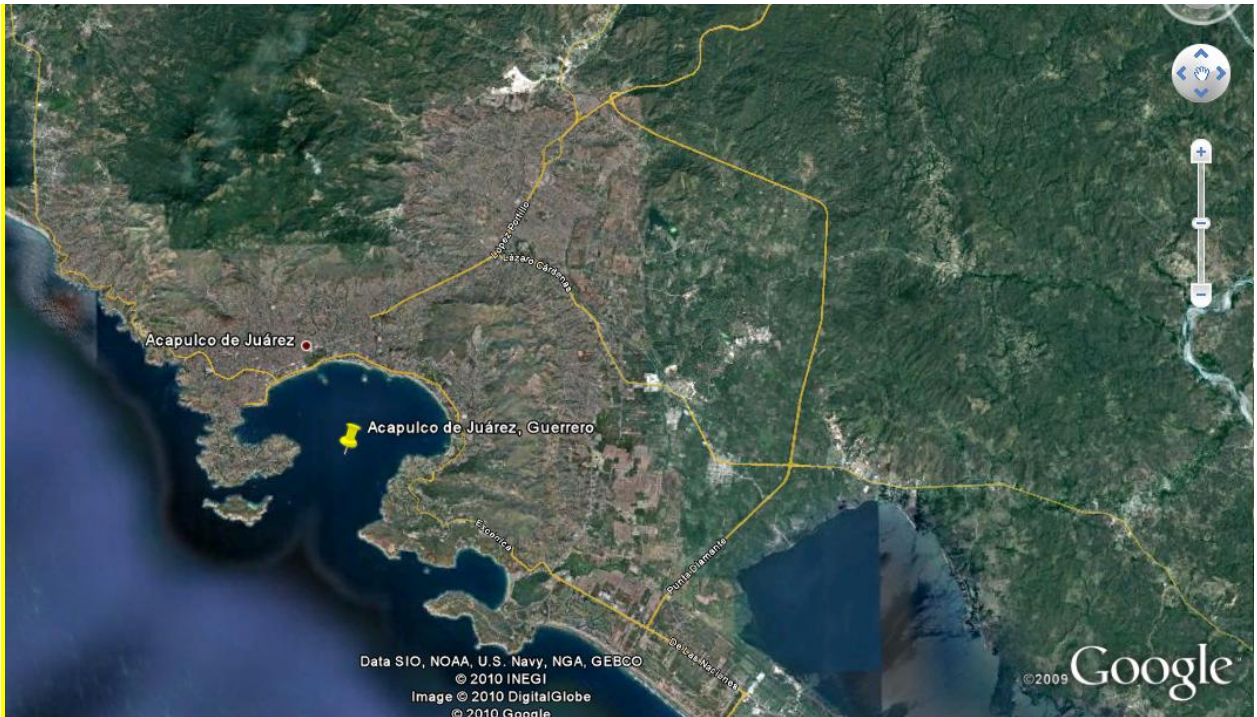
En los cambios de pendiente hacia la zona costera, los patrones dendríticos amplios corresponde a suelos y materiales sin consolidar como arenas, gravas y bloques intermitentes, que desaparecen porque se presenta material granular permeable en la zona costera que facilita la infiltración de agua superficial. Esta característica es importante para considerar que las descargas de aguas residuales contribuyen a la contaminación de acuíferos de la región y en especial en el subsuelo de la zona urbana de Acapulco.

En cuanto a los cuerpos de agua naturales y artificiales son muy escasos en la zona urbana de Acapulco y solo algunos se presentan en la región oriental de la ciudad, como son la laguna la Testaruda, laguna Las Marcelas y los cuerpos de agua artificial como son el lago Papagayo y los estanques de El Veladero, Tres palos y San Pedro de las Playas al sur oriente de la zona urbana. Esta escasa distribución de cuerpos de agua es indicativo de la permeabilidad de suelos y materiales así como la presencia de acuíferos someros con un nivel freático de poca profundidad que se encuentran en equilibrio hidrológico con respecto al nivel del agua de mar.

El municipio de Acapulco se caracteriza por tener grandes pendientes es por eso que hacia el norte de la bahía de Acapulco, el parteaguas tiene una elevación máxima de 900 msnm al norte, disminuyendo hacia el sur con altitud media de 500 msnm, por lo que la distancia horizontal a la línea de la costa es de 4,500 m. De lo anterior se ha determinado que la pendiente media de la cuenca es aproximadamente de 20%, con lo que se tiene una respuesta rápida a la precipitación, es decir; los escurrimientos llegan a las partes bajas en menos de una hora después de iniciada la tormenta.

Figura 1 Localización del área de estudio.





## 6.2 Selección de Estaciones de Muestreo

El presente trabajo de tesis, está basado en un proyecto de investigación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, a través del fondo sectorial de CONACyT y CONAGUA para llevar a cabo el estudio de clasificación de la bahía de Acapulco Guerrero. Para llevar a cabo la delimitación del área de estudio de la presente tesis, se consideró únicamente incluir las cuencas exorreicas que tienen desembocadura orientada a la bahía; es decir, el aporte de aguas residuales municipales generadas en el anfiteatro de Acapulco así como las playas (a partir de las playas de Caleta y Caletilla y hasta la playa de la zona naval militar de Icacos Sur), el interior de la bahía y los escurrimientos de los arroyos que cruzan el anfiteatro y desembocan en la bahía. Por lo que a partir de este momento, se hace la consideración que para el uso y calibración del modelo generado con el programa GWLF, se considera el caudal de aguas residuales puntuales generado en el anfiteatro como exportación hacia el exterior de la bahía, pero es necesario tomarlo en cuenta para efectos de la modelación. Las figuras del área de estudio harán referencia únicamente a esta zona, la cual tiene como desembocadura la bahía de Acapulco, en donde se encuentran comprendidos los escurrimientos de los arroyos, las playas con uso recreativo y el interior de la bahía. Todo esto con la finalidad de efectuar una estimación de la situación en la que se encuentra la bahía en cuanto a calidad del agua destacando la importancia de la calidad microbiológica del agua, debido al uso recreativo y de contacto primario que tiene la bahía por actividades turísticas.

Para los muestreos se tomó en cuenta la distribución y la temporalidad de las descargas que se puedan encontrar sobre la playa; así mismo, de los escurrimientos de precipitaciones y los arroyos que llegan al anfiteatro. De la misma forma se efectuó el monitoreo de las descargas de aguas residuales municipales con la finalidad de cuantificar las concentraciones y cargas de los nutrientes, sedimentos y organismos patógenos.

Los sitios de muestreo fueron seleccionados en base a la información obtenida en la visita prospectiva, muestreos históricos de CONAGUA y referencias ambientales y poblacionales; es decir, se ubicaron puntualmente descargas de aguas residuales, drenajes pluviales, asentamientos irregulares sin infraestructura de saneamiento y alcantarillado, actividades navieras de pequeño y mediano tamaño, así como comercio informal y actividades de fileteo.

Se plantearon una serie de muestreos y mediciones de campo, tomando en cuenta parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos indicadores de la calidad del agua en varios puntos de muestreo, previamente establecidos en la zona de playas; abarcando tanto las playas con mayor afluencia turística, como las que reciben de forma directa el aporte de los escurrimientos de los 4 arroyos que se consideraron en este estudio, con la finalidad de cuantificar la concentración de los indicadores microbiológicos para así poder definir si estas concentraciones representan un riesgo sanitario tanto para contacto primario como para fines recreativos .

En la tabla 2 y figuras 2, 3 y 4 se muestran las diferentes nomenclaturas empleadas en la identificación de las estaciones seleccionadas para muestreo de las tres diferentes matrices (agua de arroyos, playa y bahía), así como sus localizaciones geográficas y coordenadas.

Tabla 2 Referencias geográficas de los sitios de muestreo del proyecto.

| <b>Coordenadas de los sitios de muestreo seleccionados en Arroyos, Playas y Bahía.</b> |                      |                 |                |  |              |                 |                |
|--|----------------------|-----------------|----------------|--|--------------|-----------------|----------------|
| <b>Clave</b>   | <b>Arroyos</b>       | <b>Longitud</b> | <b>Latitud</b> |  | <b>Clave</b> | <b>Longitud</b> | <b>Latitud</b> |
| A1   | <i>Aguas Blancas</i> | -99.89776667    | 16.85437778    |  | E5           | -99.90885000    | 16.82700000    |
| A2   | <i>El Camarón</i>    | -99.89261667    | 165.85676944   |  | E6           | -99.90558333    | 16.82985000    |
| A3   | <i>Michoacan</i>     | -99.88957222    | 16.85766111    |  | E7           | -99.90518333    | 16.82333333    |
| A4   | <i>Papagayo</i>      | -99.88322778    | 16.85991944    |  | E8           | -99.89125000    | 16.83718333    |
| A5   | <i>La Garíta</i>     | -99.87329167    | 16.85825278    |  | E10          | -99.90558330    | 16.84486667    |
| A6   | <i>Costa Azul</i>    | -99.85513889    | 16.85017778    |  | E11          | -99.89963333    | 16.84820000    |
|  |                      |                 |                |  | E12          | -99.89991667    | 16.85211667    |
|  |                      |                 |                |  | E13          | -99.89696667    | 16.85361667    |
| <b>Clave</b>   | <b>Playas</b>        | <b>Longitud</b> | <b>Latitud</b> |  | E14          | -99.89240000    | 16.85516667    |
| P1   | <i>Caletilla</i>     | -99.90580556    | 16.83044444    |  | E15          | -99.88788333    | 16.85683330    |
| P2   | <i>Caleta</i>        | -99.90397222    | 16.83147222    |  | E16          | -99.88330000    | 16.85881667    |
| P3   | <i>Aguas Blancas</i> | -99.89830556    | 16.85383333    |  | E17          | -99.87411667    | 16.85686667    |
| P4   | <i>El Camarón</i>    | -99.89286111    | 16.85666667    |  | E18          | -99.86610000    | 16.85380000    |
| P5   | <i>Michoacan</i>     | -99.88727778    | 16.85822222    |  | E19          | -99.85845000    | 16.85078333    |
| P6   | <i>papagayo</i>      | -99.88461111    | 16.85947222    |  | E20          | -99.85263333    | 16.84445000    |
| P7   | <i>La Diana</i>      | -99.87302778    | 16.85783333    |  | E21          | -99.85818333    | 16.83526667    |
| P8   | <i>Condesa</i>       | -99.86744444    | 16.85611111    |  | E22          | -99.85335000    | 16.83756667    |
| P9   | <i>Copacabana</i>    | -99.85719444    | 16.85200000    |  | E23          | -99.86973333    | 16.84223333    |
| P10  | <i>Hiatt</i>         | -99.85091667    | 16.84169722    |  | E24          | -99.88441667    | 16.82098333    |
| P16  | <i>Isla Roqueta</i>  | -99.90555556    | 16.82272222    |  |              |                 |                |

Figura 2 Localización de las estaciones de muestreo en los arroyos.

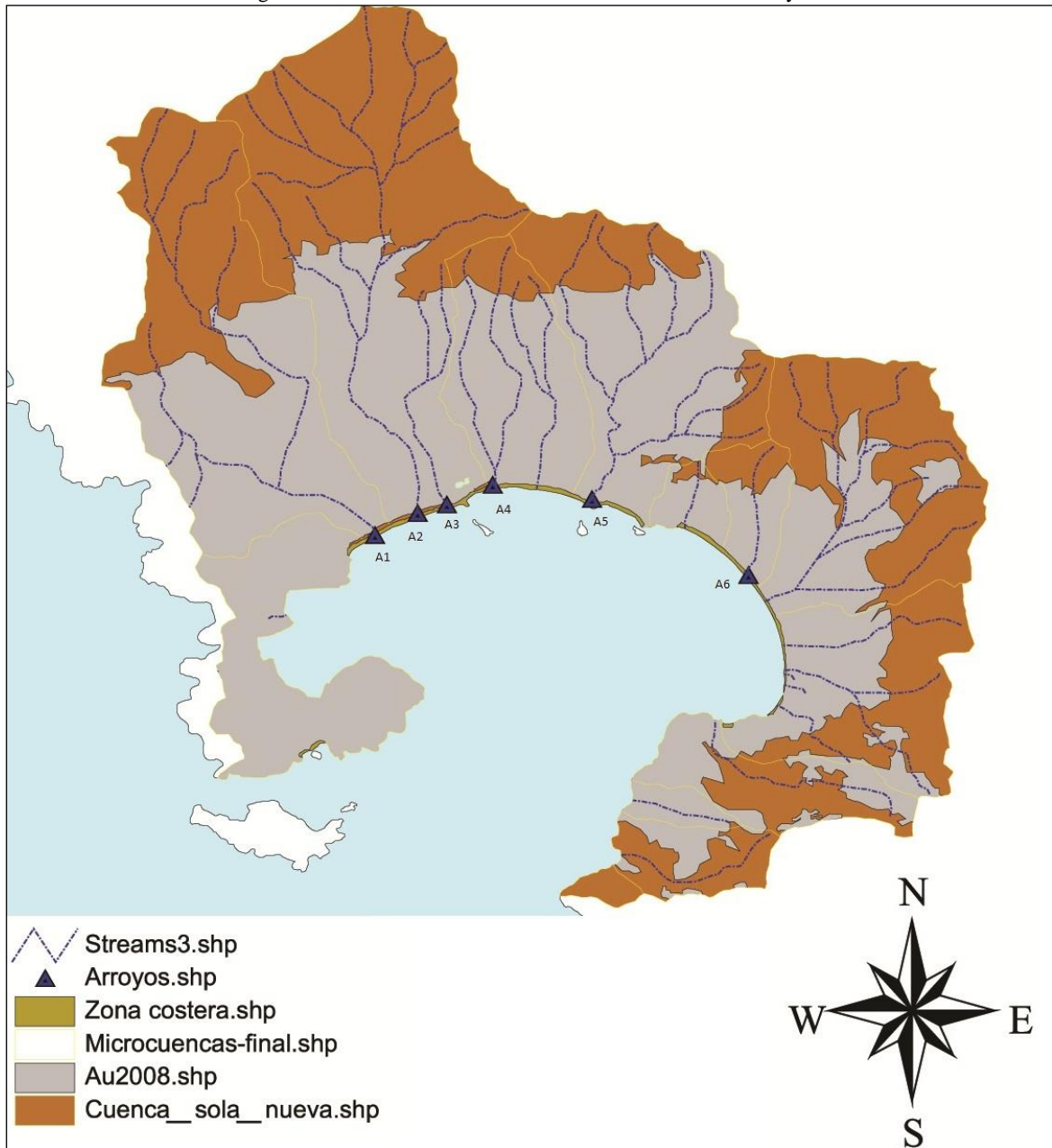




Figura 3. Localización de las estaciones de muestreo en las playas.

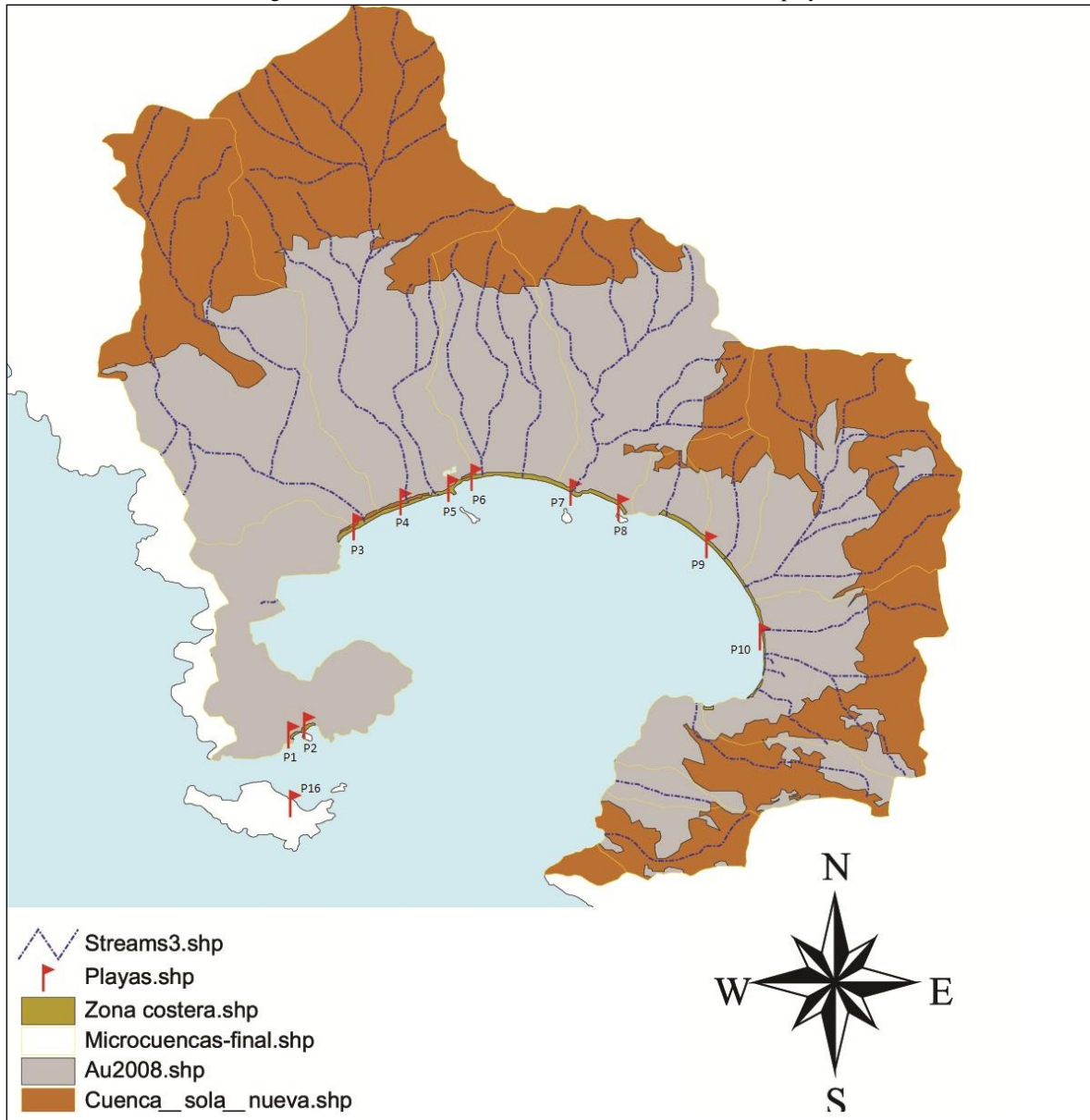
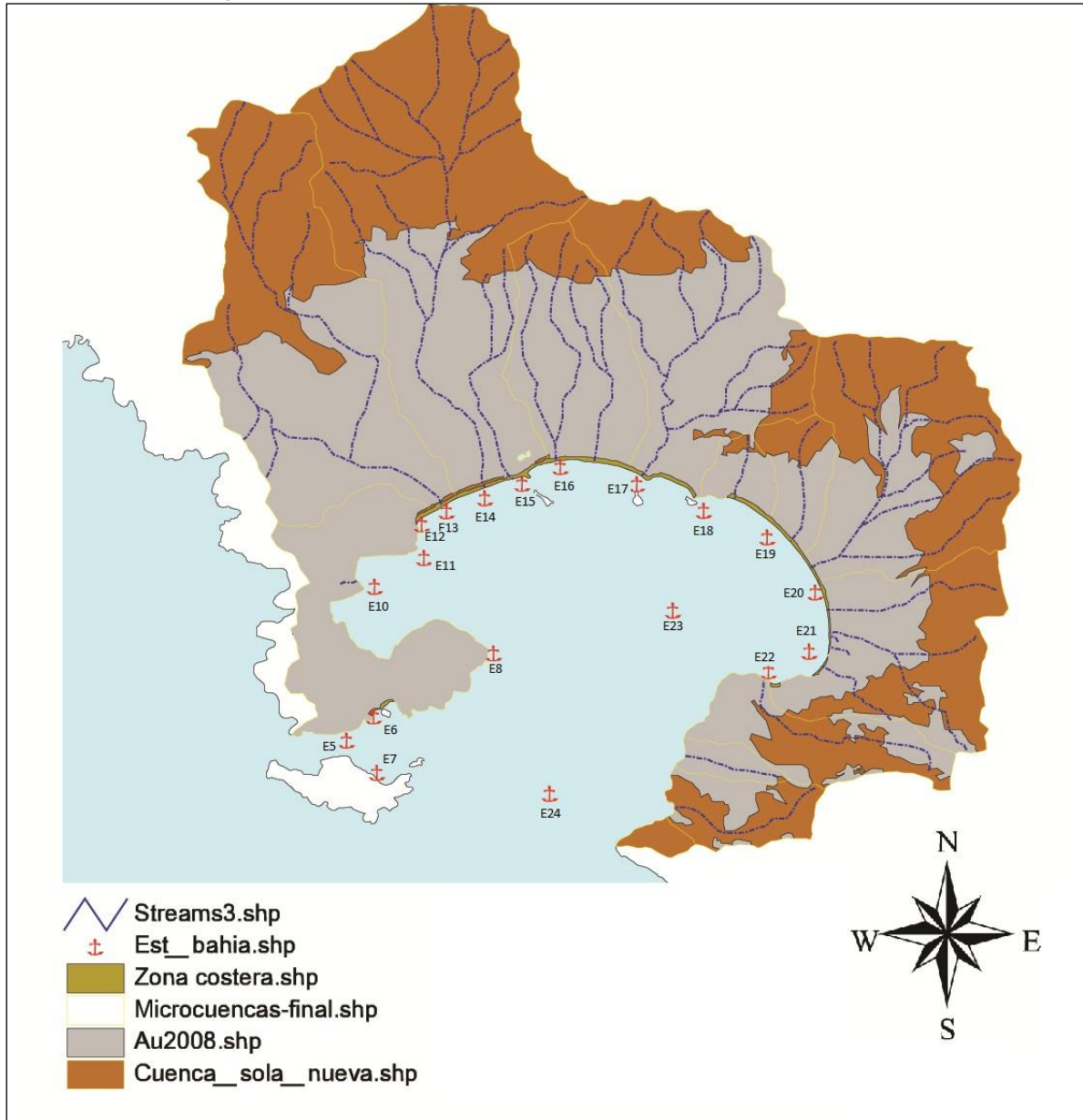


Figura 4. Localización de las estaciones de muestreo en el interior de la bahía.



La toma de las muestras bacteriológicas, se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en los “Lineamientos para determinar la calidad del agua de mar para uso recreativo con contacto primario” que publicó la Secretaría de Salud en el año 2004.<sup>31</sup>

De igual modo, se monitorearon los escurrimientos naturales de los arroyos Aguas Blancas, El Camarón, La Garita y Costa Azul, estimando su caudal y caracterizando su escurrimiento y concentraciones de organismos coliformes fecales durante la temporada de lluvias.

Para estos fines, fue necesario la elaboración de una planeación y logística de aseguramiento de la calidad en los muestreos, el cual tiene por objetivo, una colecta de muestras y registros de mediciones en campo, que representen verazmente las características del agua en un tiempo y espacio; así como mantener la integridad de dichas muestras mediante la preservación fisicoquímica conforme a los requerimientos establecidos para cada análisis, debido que es de suma importancia establecer controles que detecten alteraciones potenciales de los resultados por efecto de temperatura, transporte, equipos y/o instrumentos de medición enjuagados en forma incorrecta, entre otros.

En este estudio, fue necesaria la aplicación de los siguientes procedimientos de aseguramiento de la Calidad, establecidos por el Laboratorio del IMTA:

- Plan de muestreo
- Control de Calidad en campo
- Parámetros de campo
- Muestreo y preservación de parámetros fisicoquímicos

Los cuales establecen los lineamientos a seguir para la ejecución de los diferentes muestreos realizados.

### **Plan de muestreo**

Establecen los lineamientos generales que se deben cubrir para asegurar que se cumplan los parámetros de calidad en la realización de los muestreos efectuados por el personal asignado para dicha actividad.<sup>32 a 34</sup>

### **Control de Calidad en Campo**

El programa de control de calidad en campo, tiene como principal objetivo, contar con muestras controles tales como el blanco de campo, blanco de viaje y la muestra doble, con la finalidad de minimizar y evaluar los posibles riesgos de alteración de las muestras debido a contaminaciones cruzadas durante el muestreo o traslado de las mismas al laboratorio para su análisis.

### **Desarrollo del muestreo**

La medición de parámetros de campo y la colecta de las muestras se realiza de acuerdo con el procedimiento de control de calidad en campo CAGC7-16.<sup>35-36</sup>

### **Parámetros en campo**

Los registros de los parámetros (Temperatura, potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, salinidad) son anotados en un formato que considera: fecha de muestreo, descripción del lugar, nombre del lugar, lugar de muestreo, hora de muestreo; para la medición de oxígeno disuelto se considera, altitud, lectura inicial, lectura teórica, tres lecturas finales y promedio cada vez que se necesita calibrar el instrumento por cambio de altitud. Hora de lectura de los parámetros de campo de los cuales se toman tres lecturas y se obtiene el promedio. Este procedimiento aplica para muestreos en agua superficial y agua residual. Las características de los instrumentos de medición utilizados para la determinación de los parámetros en campo, se muestran en la tabla 3.

Tabla 3 Características de los instrumentos de medición utilizados.

| Instrumento    | Marca    | Modelo  | Parámetro                            | Intervalo de medición | Intervalo de precisión |
|----------------|----------|---------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Multiparámetro | HANNA    | HI-9829 | Temperatura                          | -5 a 55°C             | ±0.15°C                |
|                |          |         | Conductividad eléctrica              | 0.000 a 200mS/cm      | ± 1uS/cm               |
|                |          |         | Potencial de Hidrógeno (pH)          | 0.00 a 14.00 unidades | ± 0.02 unidades        |
|                |          |         | Potencial de Óxido - Reducción (ORP) | ±2000.0 mV            | ± 1.0 mV               |
|                |          |         | Oxígeno Disuelto                     | 0.0 a 50.00mg/L       | 0.00 a 30.00 mg/L      |
| Potenciómetro  | Orion    | 210A    | Potencial de Hidrógeno (pH)          | 0.00 a 14.00 unidades | ± 0.02 unidades        |
| Multiparámetro | YSI & Co | 6600    | Temperatura                          | -5 a 45°C             | ± 0.15%                |
|                |          |         | Conductividad eléctrica              | 0 a 100 mS/cm         | ±0.5% + 0.001mS/cm     |
|                |          |         | Potencial de Hidrógeno (pH)          | 0 a 14 unidades       | ±0.2%                  |
|                |          |         | Potencial de Óxido - Reducción (ORP) | -999 a 999 mV         | ±20%                   |
|                |          |         | Oxígeno Disuelto                     | 0 a 50mg/L            | ± 2 a 6%               |
|                |          |         | Profundidad                          | 0 a 200 m             | ± 0.3m                 |

El aseguramiento y el control de calidad son obligatorios; consiste en registrar en la bitácora del personal, el nombre de quién verifica los instrumentos y determina los parámetros en campo, los que deberán indicar en el formato “Registros de campo”. <sup>37-42</sup>

### Muestreo y Preservación de parámetros fisicoquímicos

El procedimiento CAQAF4-01 establece como se debe llevar a cabo el muestreo de agua y el método de preservación de los parámetros fisicoquímicos solicitados, dicho procedimiento es aplicable para agua residual, marina, natural (superficiales y profundas) y potable. También incluye los criterios que se deben considerar para la toma de muestras y los requerimientos para el envasado y la preservación de las mismas. <sup>43-53</sup>

En la tabla 4 se muestran los parámetros fisicoquímicos a analizar en los sitios de muestreo que son requeridos para efecto alimentación del modelo GWLF, así como el tipo de preservación y tiempo máximo permitido para efectuar dicho análisis.

Tabla 4 Parámetros, procedimiento, tiempo máximo de análisis y preservación de muestras.

| Parámetro           | Procedimiento                         | Volumen de muestra requerido | Tipo de recipiente           | Tiempo máximo para análisis. | Preservación                             |
|---------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| Nitrógeno Total     | IMTA CAQAF6-61                        | 2 litros                     | Polietileno de alta densidad | 7 días                       | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH>2, 4°C |
| Fósforo Total       | NMX-AA-029-SCFI-2001<br>CAQAF6-21     | 1 litro                      | Polietileno de alta densidad | 28 días                      | Obscuridad, 4°C                          |
| Coliformes Fecales  | NMX-AA-042-SCFI-1987<br>IMTA CAMB6-03 | 300mL                        | Bolsa estéril                | 24 hrs                       | Obscuridad, 4°C                          |
| Enterococos Fecales | IMTA CAMB6-17                         | 300mL                        | Bolsa estéril                | 24 hrs                       | Obscuridad, 4°C                          |

Como parte complementaria a la aplicación del modelo GWLF para la estimación del impacto de la contaminación puntual y difusa a la bahía de santa Lucía en Acapulco Guerrero; se utilizaron los paquetes LOICZ y ASSETS que nos permitieron efectuar el análisis del estado trófico del sistema de la bahía, debido a balances de nutrientes, flujos y ponderaciones sobre factores de presión que actúan directamente sobre el estado actual de la bahía. Tales modelos, permiten prever el comportamiento de retención y/o liberación de nutrientes al océano exterior, así como el tiempo de recambio del sistema. De igual forma permiten efectuar ponderaciones de los sistemas de presión y arrojan una perspectiva del sistema bajo estas condicionantes a mediano plazo. Uno de los propósitos del empleo de estos modelos matemáticos a nivel mundial, es la creación de una base de datos con las condiciones tróficas de los sistemas estuarinos y costeros a fin de tener referencias actualizadas a cerca del estado en el que se encuentran estos sistemas enfocados a un mejor manejo de los mismos.

Estos modelos matemáticos se alimentan para su calibración con datos provenientes de batimetría, e hidrodinámica de las mareas, área del sistema (bahía), evaporación, precipitación, concentraciones de nitrógeno y fósforo, salinidades, concentraciones de clorofila a, observaciones de florecimientos algales, entre otros datos más; mismos que son obtenidos a partir de los datos modelados con el paquete GWLF, análisis fisicoquímicos de laboratorio, y datos provenientes de las observaciones en campo que se realizaron durante los eventos de muestreo en los meses de Marzo y Julio 2008.

## 7.- Resultados

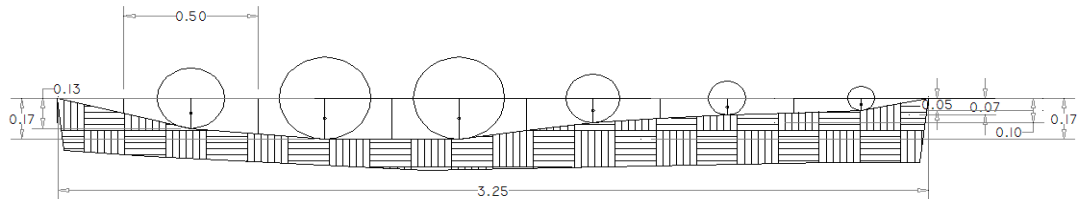
### 7.1 Aforo de los arroyos

#### 7.1.1 1er Muestreo

##### 7.1.1.1 Arroyo Aguas Blancas

En el primer muestreo, se llevó a cabo el aforo sobre los arroyos Aguas Blancas y La Garita, fueron los únicos que presentaban escurrimiento; se presenta la estimación de su caudal

| ARROYO AGUAS BLANCAS |       |             |                 |      |      |      |      |           |                     |        |                   |
|----------------------|-------|-------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|---------------------|--------|-------------------|
| Ancho                | 3.25  | Tirante (m) | Velocidades m/s |      |      |      |      | Vprom m/s | Área m <sup>2</sup> | Caudal |                   |
| Transecto 1          | 0.5 m | 0.125       | 0.26            | 0.25 | 0.26 | 0.27 | 0.27 | 0.262     | 0.0575              | 0.0151 |                   |
| Transecto 2          | 1.0 m | 0.17        | 0.24            | 0.24 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.252     | 0.0822              | 0.0207 |                   |
| Transecto 3          | 1.5 m | 0.17        | 0.25            | 0.26 | 0.25 | 0.26 | 0.26 | 0.256     | 0.0806              | 0.0206 |                   |
| Transecto 4          | 2.0 m | 0.1         | 0.25            | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25      | 0.0525              | 0.0131 |                   |
| Transecto 5          | 2.5 m | 0.07        | 0.21            | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 0.23 | 0.222     | 0.0356              | 0.0079 |                   |
| Transecto 6          | 3.0 m | 0.05        | 0.15            | 0.14 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.128     | 0.0200              | 0.0026 |                   |
|                      |       |             |                 |      |      |      |      |           | Suma                | 0.0774 | m <sup>3</sup> /s |
|                      |       |             |                 |      |      |      |      |           |                     | 77.4   | L/s               |



Aguas blancas en playa, 1er muestreo

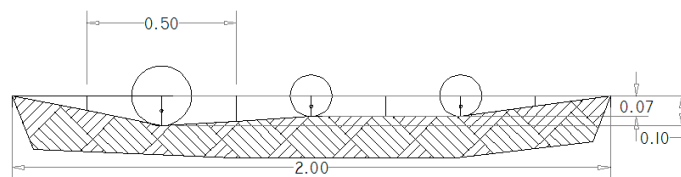
Fotografía 3. Medición de caudal y parámetros ambientales en la salida de la descarga del arroyo Aguas Blancas.



### 7.1.1.2 Arroyo La Garita

| LA GARITA   |       |             |                 |      |      |      |      |           |                     |        |                   |
|-------------|-------|-------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|---------------------|--------|-------------------|
| Ancho       | 2 m   | Tirante (m) | Velocidades m/s |      |      |      |      | Vprom m/s | Área m <sup>2</sup> | Caudal |                   |
| Transecto 1 | 0.5 m | 0.1         | 0.44            | 0.43 | 0.4  | 0.42 | 0.41 | 0.42      | 0.0419              | 0.0176 |                   |
| Transecto 2 | 1.0 m | 0.07        | 0.48            | 0.4  | 0.45 | 0.44 | 0.46 | 0.446     | 0.0369              | 0.0165 |                   |
| Transecto 3 | 1.5 m | 0.07        | 0.32            | 0.34 | 0.36 | 0.32 | 0.35 | 0.338     | 0.0306              | 0.0103 |                   |
|             |       |             |                 |      |      |      |      |           | Suma                | 0.0444 | m <sup>3</sup> /s |
|             |       |             |                 |      |      |      |      |           |                     | 44.4   | L/s               |

la garita, 1er muestra



Fotografía 4. Medición de caudal y parámetros ambientales en la salida de la descarga del arroyo La Garita.



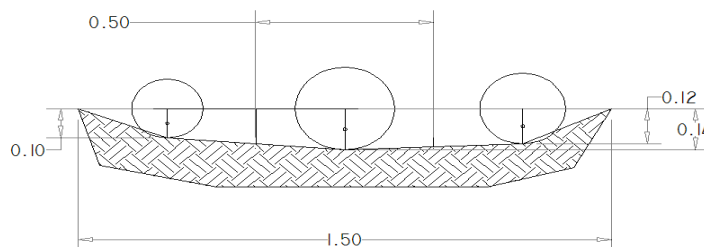
### 7.1.2 2º Muestreo

En el caso del segundo muestreo se llevó a cabo la estimación del caudal, en los arroyos El Camarón y La Garita, únicos que presentaron escurrimiento.

#### 7.1.2.1 Arroyo El Camarón

| CAMARÓN     |        |             |                 |      |      |      |      |           |                     |        |                   |
|-------------|--------|-------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|---------------------|--------|-------------------|
| Ancho       | 1.5 m  | Tirante (m) | Velocidades m/s |      |      |      |      | Vprom m/s | Área m <sup>2</sup> | Caudal |                   |
| Transecto 1 | 0.25 m | 0.1         | 0.09            | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.074     | 0.0400              | 0.0030 |                   |
| Transecto 2 | 0.75 m | 0.14        | 0.1             | 0.1  | 0.09 | 0.11 | 0.1  | 0.1       | 0.0662              | 0.0066 |                   |
| Transecto 3 | 1.25 m | 0.12        | 0.08            | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.084     | 0.0463              | 0.0039 |                   |
|             |        |             |                 |      |      |      |      |           | Suma                | 0.0135 | m <sup>3</sup> /s |
|             |        |             |                 |      |      |      |      |           |                     | 13.5   | L/s               |

Camarón



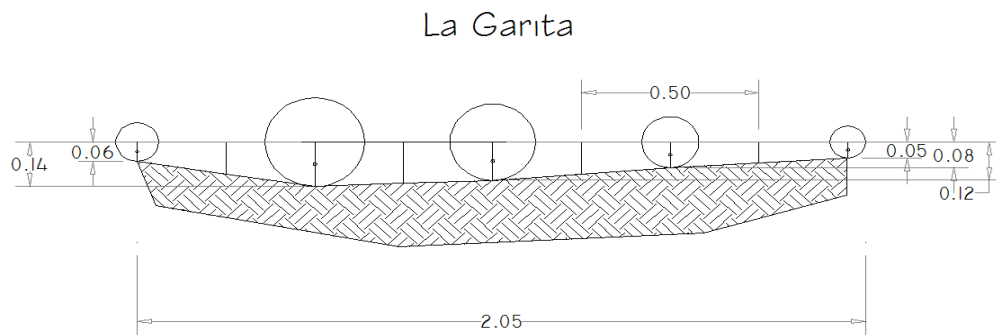


Fotografía 5. Medición de caudal y parámetros ambientales en la salida de la descarga del arroyo El Camarón.



### 7.1.2.2 Arroyo La Garita

| LA GARITA - LA DIANA |       |             |                 |      |      |      |      |           |                     |                   |
|----------------------|-------|-------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|---------------------|-------------------|
| Ancho                | 2.0m  | Tirante (m) | Velocidades m/s |      |      |      |      | Vprom m/s | Área m <sup>2</sup> | Caudal            |
| Transecto 1          | 0.0 m | 0.06        | 0.4             | 0.41 | 0.42 | 0.43 | 0.43 | 0.418     | 0.0200              | 0.0084            |
| Transecto 2          | 0.5 m | 0.14        | 0.53            | 0.56 | 0.56 | 0.58 | 0.6  | 0.566     | 0.0637              | 0.0361            |
| Transecto 3          | 1.0 m | 0.12        | 0.6             | 0.62 | 0.63 | 0.64 | 0.63 | 0.624     | 0.0588              | 0.0367            |
| Transecto 4          | 1.5 m | 0.08        | 0.3             | 0.32 | 0.29 | 0.31 | 0.32 | 0.308     | 0.0406              | 0.0125            |
| Transecto 5          | 2.0 m | 0.05        | 0.22            | 0.21 | 0.22 | 0.22 | 0.21 | 0.216     | 0.0144              | 0.0031            |
| Suma                 |       |             |                 |      |      |      |      |           | 0.0967              | m <sup>3</sup> /s |
|                      |       |             |                 |      |      |      |      |           | 96.7                | L/s               |



Fotografía 6. Medición de caudal y parámetros ambientales en la salida de la descarga del arroyo La Garita.



## 7.2 Balance de aguas residuales

Para hacer la estimación real de la cantidad de agua residual que llega a la bahía debido a los aportes de descargas y arroyos, se tomaron en cuenta los siguientes datos:

- Producción de aguas residuales estimada
- Aforo de aguas residuales
- Aforo de arroyos

$$Q_x = Q_{tot} - Q_{desc} - Q_{ar}$$

En donde

$Q_x$  es el aporte clandestino de aguas residuales a la bahía.

$Q_{tot}$  es la estimación de la producción de aguas residuales debida a la población fija y flotante.

$Q_{desc}$  es el volumen aforado de aguas residuales en los sitios de muestreo.

$Q_{ar}$  es el volumen aforado de agua en los escurrimientos naturales de los arroyos.

| Mes   | Población fija | Población flotante (mes) | Población flotante (día) | Población total día | Demanda de agua al día per cápita | Retorno | Prod. De aguas residuales (L/s) |
|-------|----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------|---------------------------------|
| Marzo | 717766         | 326664                   | 10538                    | 728304              | 330                               | 70%     | 1947.2                          |
| Julio | 717766         | 325755                   | 10508                    | 728274              | 330                               | 70%     | 1947.1                          |

En el mes de Marzo los aforos de las descargas fueron los siguientes:

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| Canal Playa Mozimba   | 220 L/s   |
| Canal Playa Olvidada  | 722 L/s   |
| Descarga PTAR La Mira | 3.6 L/s   |
| Dando un total de     | 945.6 L/s |

Mientras que los escurrimientos de los arroyos:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| Arroyo Aguas Blancas | 77.4 L/s |
| Arroyo La Diana      | 44.4 L/s |

Dando un total de 121.8 L/s

$$Qx = 1947.2 - 945.6 - 121.8$$

$$Qx = \mathbf{879.8 L/s}$$

En el mes de Julio los aforos de las descargas fueron los siguientes:

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Canal Mozimba         | 1740 L/s |
| Canal Playa Olvidada  | 830 L/s  |
| Descarga PTAR La Mira | 5.2 L/s  |

Ahora bien, para el caso de la suma de estas descargas se hace la siguiente consideración: la descarga denominada Mozimba, está situada en las afueras de la PTAR Aguas Blancas y presumiblemente es la suma de los efluentes que se sitúan tanto en la playa Mozimba como en Playa Olvidada. Por lo que se considerará este valor como el flujo neto de las aguas residuales; por consiguiente, a este valor solo se le adicionará el valor de la descarga de la PTAR La Mira.

Dando un total de 1745.2 L/s

Mientras que los escurrimientos de los arroyos:

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| Arroyo El Camarón | 13.5 L/s  |
| Arroyo La Diana   | 96.7 L/s  |
| Dando un total de | 110.2 L/s |

$$Qx = 1947.1 - 1745.2 - 110.2$$

$$Qx = \mathbf{91.7 L/s}$$

En este balance se puede ver en la primera campaña de muestreo en el mes de Marzo habría una diferencia de 879.8 L/s con respecto a la estimación de la producción de aguas residuales para ese mes; los cuales estarían siendo infiltrados a la bahía debido principalmente a las fracturas de la red de drenaje o en forma de descargas clandestinas en el trayecto comprendido de la planta de tratamiento “Aguas Blancas” y la salida de la descarga.

### 7.3 Cobertura de red de drenaje y sistemas sépticos

El aporte por fuentes puntuales se consideró a partir de datos reportados por la CONAGUA en su inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación<sup>54</sup>. Estos valores corresponden a: PTAR La Mira 9 L/s (777.6m<sup>3</sup>/día), y PTAR Aguas Blancas 850L/s (73,444m<sup>3</sup>/día).

De acuerdo con la información disponible en el Sistema Nacional de Información sobre Cantidad, Calidad, Usos y Conservación del Agua<sup>55</sup> se tiene la siguiente información:

|  |            |
|--|------------|
| Dotación per cápita diaria de agua potable | 330 litros |
|--|------------|

|   |         |
|---|---------|
| En la zona metropolitana de Acapulco de Juárez. |         |
| Viviendas particulares totales                  | 167,888 |

|   |         |
|---|---------|
| Que cuentan con:                                  |         |
| Drenaje – red pública                             | 99,416  |
| Drenaje – fosa séptica                            | 39,912  |
| Drenaje – sin drenaje                             | 18,907  |
| Drenaje – no especifica                           | 2,950   |
| Drenaje – barranca, grieta, río, lago, mar, suelo | 6,703   |
| Drenaje – cobertura reportada CONAGUA             | 146,031 |

El número de viviendas que cuentan con al menos un servicio de drenaje, son aproximadamente 139,328, lo que implica un déficit de 28,560 viviendas sin este servicio, es decir, 17.011% del total de viviendas registradas durante el II Censo de Población y Vivienda 2005. La zona metropolitana de la ciudad de Acapulco, contaba con aproximadamente 717,766 habitantes, de los cuales 390,876 cuentan con conexión a la red pública de drenaje sanitario, mientras que 169,141 cuentan con servicio de fosa séptica para tratamiento de sus aguas residuales, 6016 habitantes descargan sus aguas residuales directamente a algún cuerpo receptor (río, lago, mar), además de 23,027 que descargan directamente a alguna grieta o barranca, también 81,977 habitantes que no cuentan con drenaje, 11,969 que no especifican si cuentan con alguno de estos servicios o formas de disposición de sus aguas residuales, mientras que la CONAGUA, reporta una cobertura de 589,060 habitantes con servicio de drenaje de sus aguas residuales, por lo que se puede notar que existen incongruencias en los datos oficiales reportados de la cobertura del servicio de drenaje.

Según los datos del organismo operador CAPAMA, en el año 2007, el anfiteatro contaba con una cobertura de servicio de agua potable del 89% lo que representa alrededor de 140,369 tomas domésticas registradas, además de que se cuenta con un aproximado de un 57.1% en la cobertura de red de alcantarillado (90,147 descargas registradas) y con una producción estimada de 2,022 litros por segundo de aguas residuales; mientras que la estimación de el volumen de aguas captadas en el sistema de redes de drenaje es de apenas 1,411 litros por segundo.

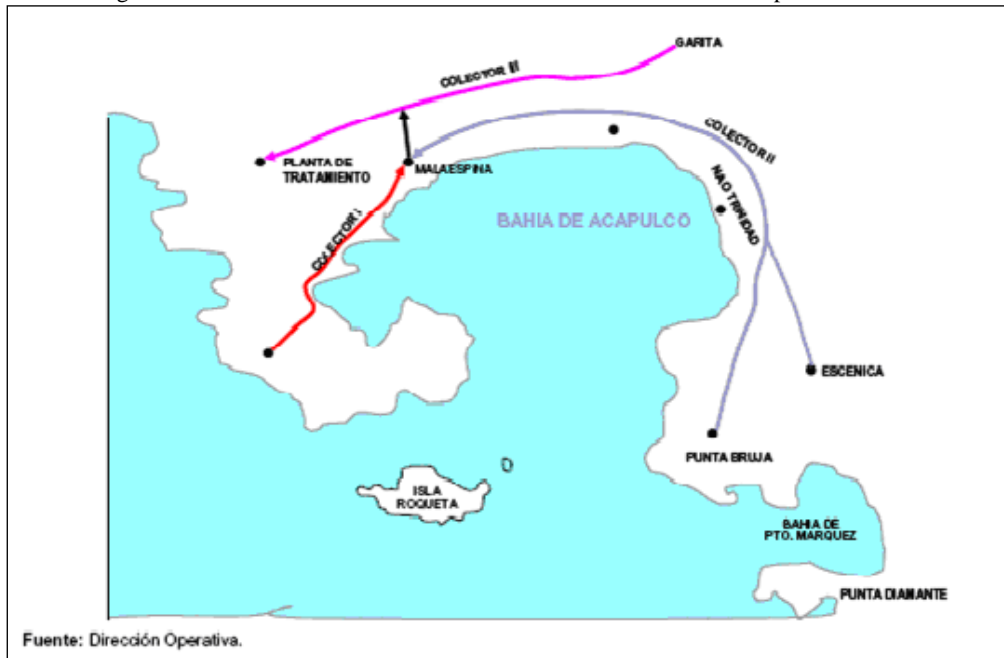
El sistema de alcantarillado de Acapulco, es de tipo separado; es decir, el alcantarillado pluvial esta designado a la CAPAMA, el cual comprende un área aproximad de 1000 Km lineales de tuberías de diferentes diámetros y materiales, tiene aproximadamente 50 años de antigüedad y está representado en su mayor parte por el sector del anfiteatro, en donde la cobertura de la red de drenaje está más desarrollada, en cambio no es de la misma forma en las partes altas de la cuenca en donde existe un menor grado de urbanización y desarrollo en cuanto a la infraestructura hidráulica. En forma aproximada se cuenta con una cobertura del 64.6% en la cobertura de la red de drenaje sanitario.

El sistema de drenaje en el anfiteatro se desarrolla por un complejo de colectores escalonados bien definidos. El primer escalón se encuentra desarrollado a través de la costera Miguel Alemán, en donde se encuentran los colectores 1 y 2, los cuales concentran el agua conducida a través de ellos hasta la planta de bombeo Malaespina, la cual lleva el agua hasta la parte media de la ciudad, en el segundo escalón, el colector número 3 conduce el agua al oriente de la ciudad hasta llegar a la planta de tratamiento Aguas Blancas, en donde las descargas de aguas residuales de la zona media alta de la ciudad son conducidas a través de sub colectores. En la planta de tratamiento se incorpora directamente el colector 4. Desde ese punto, el efluente de la

conducción de esos colectores, son conducidos y descargados mediante un emisor construido mediante un túnel de poco más de 1 kilómetro hasta Playa Olvidada.

Además en los márgenes de los arroyos Aguas Blancas, El Camarón, la Garita y Magallanes existen colectores marginales que se utilizan para conducir las descargas de aguas negras que pudieran llegar a estos arroyos.

Figura 5. Trazo de la red de colectores en la zona del anfiteatro de Acapulco Guerrero.



Actualmente no hay evidencia documentada de la existencia de un registro actualizado de la red de drenaje, los planos que existen son en su mayoría de hace más de 15 años y no se cuenta con un levantamiento e identificación completa de todos los elementos de la red; el estado en el que se encuentran debido a los azolves y deterioro de los materiales de construcción, hacen que este registro sea aun más complicado. El conocimiento que se tiene del sistema de la red de drenaje existe básicamente en la memoria colectiva de plantilla operativa de CAPAMA.

Debido a la topografía de la zona de estudio, se encuentran zonas de baja pendiente donde son frecuentes los azolves, es decir, sobre el primer escalón de colectores: que son los elementos de mayor antigüedad del sistema de colección de aguas residuales; esto, aunado a los arrastres de sólidos provenientes de las zonas altas de la cuenca en la época de lluvias, en donde debido a este arrastre de materiales existen azolvamientos en tramos de los sistemas de colectores, ocasiona la saturación y desbordamiento con aguas negras.<sup>56</sup>

#### 7.4 Afluencia turística del puerto de Acapulco.

Para el empleo del modelo GWLF, es necesario contar con información de diferentes temáticas, como la dinámica poblacional en el sitio de trabajo, ya que es necesario calibrar el modelo con estimaciones de cargas de nutrientes como nitrógeno y fósforo, así como de estimaciones de producción de aguas residuales y concentraciones de organismos patógenos.

Estas estimaciones deberán estar referidas de acuerdo a la población total mensual/anual (población fija mas población flotante mensual/anual) y con base en esto, se procedió a buscar y obtener información de la dinámica poblacional de la zona de estudio y se acudió a la Secretaría de Fomento Turístico de Acapulco<sup>57</sup>, que proporcionó un registro detallado de la población flotante (turismo) hasta el año 2006, la cual se presenta en la tabla 5.

Tabla 5 Oferta hotelera del puerto de Acapulco, 2002 a 2006.

| # CUARTOS OFERTADOS        | 2002      | 2003      | 2004      | 2005      | 2006      |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Acapulco tradicional       | 5,554     | 5,617     | 5,673     | 5,491     | 5,877     |
| Acapulco diamante          | 2,818     | 2,830     | 2,963     | 3,224     | 3,101     |
| Acapulco dorado            | 9,689     | 9,685     | 9,651     | 9,709     | 9,941     |
| TOTAL                      | 20,063    | 20,135    | 20,291    | 20,429    | 20,925    |
| <b>AFLUENCIA TURÍSTICA</b> |           |           |           |           |           |
| Acapulco tradicional       | 949,582   | 892,249   | 1,066,822 | 1,394,336 | 1,465,157 |
| Acapulco diamante          | 828,383   | 923,044   | 1,600,233 | 2,533,169 | 2,677,077 |
| Acapulco dorado            | 2,308,149 | 2,090,456 | 2,667,055 | 1,779,255 | 1,887,218 |
| TOTAL                      | 4,088,116 | 3,907,752 | 5,336,114 | 5,708,765 | 6,031,458 |

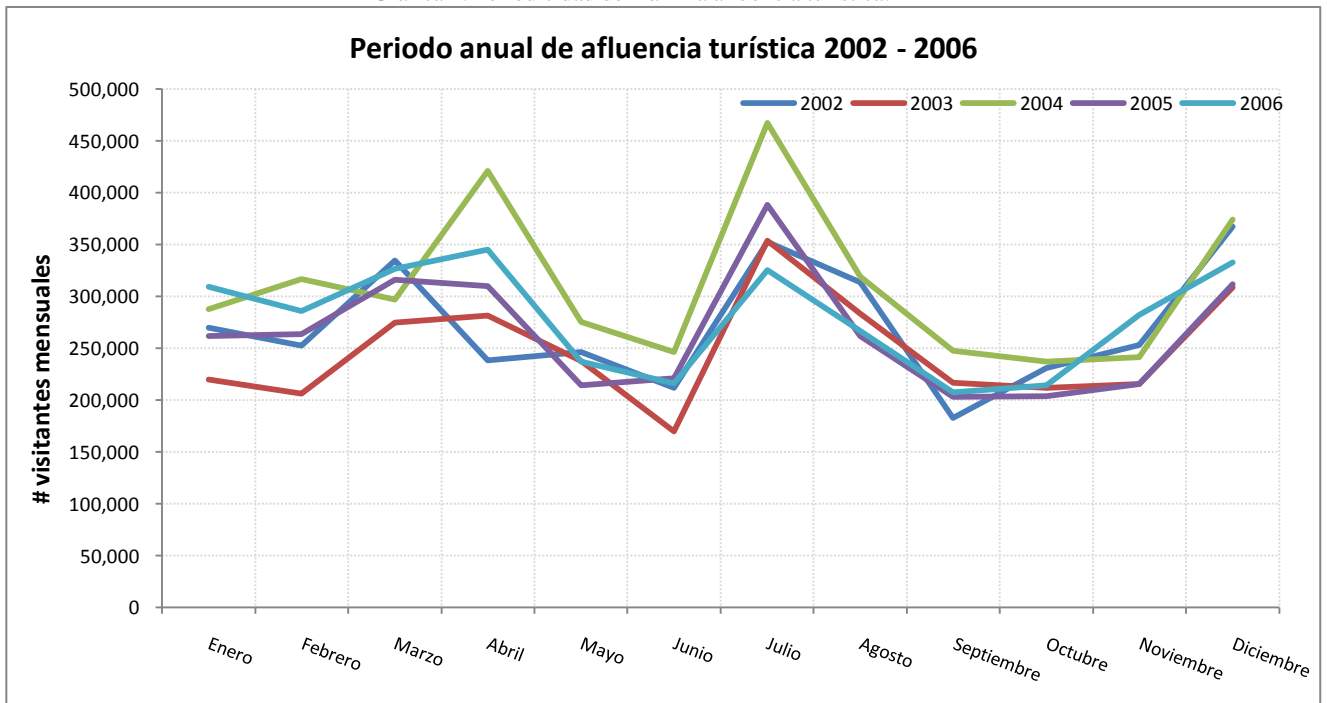
Ahora bien, de acuerdo con esta demanda, en la bahía de Acapulco (área de estudio), están comprendidas 2 zonas turísticas denominadas Acapulco Tradicional y Acapulco Dorado, teniendo para ambas la demanda hotelera que se muestra a continuación en la tabla 6.

Tabla 6 Afluencia turística mensual de Acapulco tradicional y dorado.

| Afluencia turística en Acapulco |           |           |           |           |           |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                 | 2002      | 2003      | 2004      | 2005      | 2006      |
| Enero                           | 270,099   | 219,888   | 287,803   | 262,066   | 309,654   |
| Febrero                         | 252,452   | 206,130   | 316,600   | 263,685   | 286,013   |
| Marzo                           | 334,804   | 274,748   | 296,838   | 316,094   | 326,664   |
| Abril                           | 238,602   | 281,697   | 421,319   | 309,900   | 345,363   |
| Mayo                            | 246,354   | 237,987   | 275,682   | 214,188   | 237,384   |
| Junio                           | 211,951   | 170,116   | 246,685   | 220,953   | 216,507   |
| Julio                           | 352,379   | 353,645   | 467,233   | 388,666   | 325,755   |
| Agosto                          | 313,819   | 283,695   | 319,604   | 261,885   | 266,569   |
| Septiembre                      | 183,153   | 216,990   | 247,716   | 203,264   | 207,327   |
| Octubre                         | 231,360   | 212,025   | 236,959   | 203,940   | 214,647   |
| Noviembre                       | 253,419   | 215,581   | 241,765   | 215,729   | 282,581   |
| Diciembre                       | 367,745   | 308,675   | 374,271   | 312,107   | 332,795   |
| <b>TOTAL</b>                    | 3,258,137 | 2,983,179 | 3,734,479 | 3,174,481 | 3,353,266 |

De acuerdo a la tabla 6, podemos observar que a lo largo de un ciclo anual, se encuentran tres meses de máxima afluencia turística: Abril, Julio y Diciembre, los cuales coinciden con los periodos vacacionales nacionales e internacionales observando una mayor población flotante en el puerto (gráfica 1).

Gráfica 1. Periodicidad de máxima afluencia turística.



En base a estos datos de demanda turística se puede hacer la estimación del aporte de nitrógeno y fósforo per cápita de esta población flotante mas la población fija del puerto, la cual consta de aproximadamente 718000 habitantes.

Tabla 7 Estimación de producción de aguas residuales y cargas de nitrógeno y fósforo.

| Poblacion base | 2006    | Pob. Tot. Mensual | Dotación diaria |        | Producción m3/día | Producción L/seg | Producción Millones Gal/día |
|----------------|---------|-------------------|-----------------|--------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| <b>717,766</b> | 309,654 | 1,027,420         | <b>330</b>      | litros | 168111.4          | 1945.7           | 44.415                      |
|                | 286,013 | 1,003,779         | <b>Retorno</b>  |        | 168163.6          | 1946.3           | 44.429                      |
|                | 326,664 | 1,044,430         | <b>70%</b>      |        | 168238.1          | 1947.2           | 44.449                      |
|                | 345,363 | 1,063,129         |                 |        | 168463.2          | 1949.8           | 44.508                      |
|                | 237,384 | 955,150           |                 |        | 167572.8          | 1939.5           | 44.273                      |
|                | 216,507 | 934,273           |                 |        | 167471.0          | 1938.3           | 44.246                      |
|                | 325,755 | 1,043,521         |                 |        | 168231.3          | 1947.1           | 44.447                      |
|                | 266,569 | 984,335           |                 |        | 167790.3          | 1942.0           | 44.330                      |
|                | 207,327 | 925,093           |                 |        | 167400.4          | 1937.5           | 44.227                      |
|                | 214,647 | 932,413           |                 |        | 167403.4          | 1937.5           | 44.228                      |
|                | 282,581 | 1,000,347         |                 |        | 167979.8          | 1944.2           | 44.380                      |
|                | 332,795 | 1,050,561         |                 |        | 168283.8          | 1947.7           | 44.461                      |

De acuerdo a estas estimaciones, para el mes de Marzo, durante el primero muestreo se puede determinar la carga de nitrógeno y fósforo como se muestra en la tabla 6.

Con base en los resultados analíticos de la caracterización de aguas residuales, la concentración promedio de nitrógeno y fósforo totales corresponden a un valor aproximado de 27.70mg/L de nitrógeno total y de 6.80mg/L de fósforo total. Con lo que podemos estimar las cargas de nitrógeno y fósforo en un mes determinado; o bien para un ciclo anual completo, como se muestra a continuación.

Tabla 8 Composición promedio de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales.

| <b>CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.</b> |                        |        |              |                      |        |          |
|---|------------------------|--------|--------------|----------------------|--------|----------|
|   | <b>Nitrógeno total</b> |        |              | <b>Fósforo total</b> |        |          |
|   | Mar-08                 | Jun-08 | Promedio     | Mar-08               | Jun-08 | Promedio |
| AgsBcas1  | NR                     | 26.7   | 27.95        | NR                   | 4.25   | 5.33     |
| AgsBcas2  | 39.1                   | 16.8   |              | 6.11                 | 5.73   |          |
| AgsBcas3  | NR                     | 29.2   |              | NR                   | 5.24   |          |
| Mozimba1  | 34.4                   | 22     | 24.86        | 2.84                 | 4.21   | 3.86     |
| Mozimba2  | 32.1                   | 18     |              | 5.42                 | 3.65   |          |
| Mozimba3  | NR                     | 17.8   |              | NR                   | 3.17   |          |
| La Mira1  | <1.20                  | 58.3   | 30.295       | 20.6                 | 11.81  | 11.22    |
| La Mira2  | <1.20                  | NR     |              | 1.14                 | NR     |          |
| La Mira3  | 2.29                   | NR     |              | 11.32                | NR     |          |
| <b>PROMEDIO GENERAL</b>                                 |                        |        | <b>27.70</b> | <b>6.80</b>          |        |          |



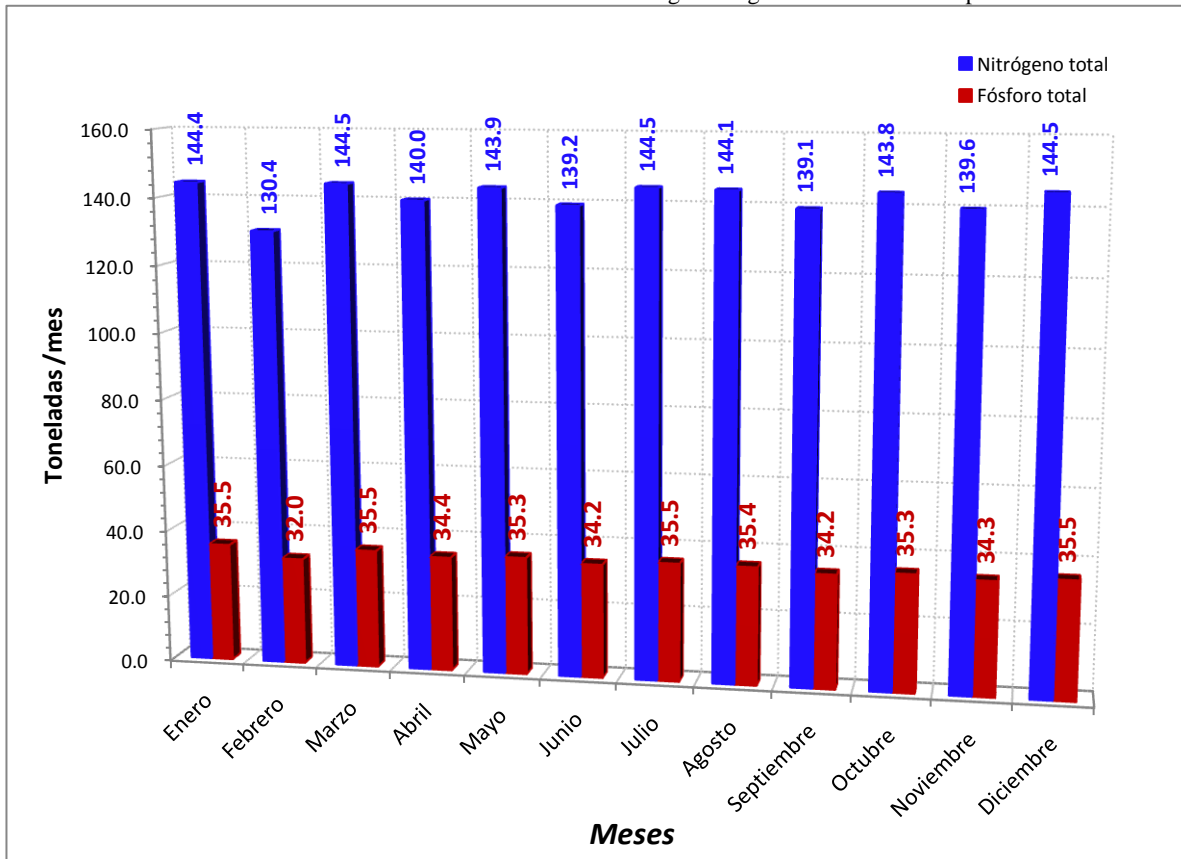
Tabla 9 Estimación de la carga de nitrógeno y fósforo para Marzo 2006.

|   |                    |                       |
|---|--------------------|-----------------------|
| <b>Población base</b>                     | <b>717,776</b>     | <b>habitantes</b>     |
| <b>Poblacion flotante mensual</b>         | <b>326,664</b>     | <b>habitantes/mes</b> |
| <b>Días en el mes</b>                     | <b>31</b>          | <b>días</b>           |
| <b>Pobl. Flot. Diaria estimada</b>        | <b>10,538</b>      | <b>habitantes/día</b> |
| <b>Dotacion diaria</b>                    | <b>330</b>         | <b>litros</b>         |
| <b>Retorno</b>                            | <b>70%</b>         |                       |
| <b>Poblacion diaria estimada</b>          | <b>728,314</b>     | <b>habitantes</b>     |
| <b>Consumo diario de agua</b>             | <b>240,343,471</b> | <b>litros/día</b>     |
| <b>Producción de aguas residuales/día</b> | <b>168,240,430</b> | <b>litros/día</b>     |
| <b>Producción de aguas residuales/seg</b> | <b>1,947</b>       | <b>litros/seg</b>     |

| <b>Caracterización ags residuales</b> |                |                |
|---------------------------------------|----------------|----------------|
| <b>Nitrógeno total</b>                | <b>27.70</b>   | <b>mg/L</b>    |
| <b>Fósforo total</b>                  | <b>6.80</b>    | <b>mg/L</b>    |
| <b>Cálculo de cargas</b>              |                |                |
| <b>Nitrógeno total</b>                | <b>0.054</b>   | <b>kg/seg</b>  |
| <b>Fósforo total</b>                  | <b>0.013</b>   | <b>kg/seg</b>  |
| <b>Nitrógeno total</b>                | <b>4,660.5</b> | <b>kg/día</b>  |
| <b>Fósforo total</b>                  | <b>1,144.5</b> | <b>kg/día</b>  |
| <b>Nitrógeno total</b>                | <b>4.7</b>     | <b>Ton/día</b> |
| <b>Fósforo total</b>                  | <b>1.1</b>     | <b>Ton/día</b> |
| <b>Nitrógeno total</b>                | <b>144.5</b>   | <b>Ton/mes</b> |
| <b>Fósforo total</b>                  | <b>35.5</b>    | <b>Ton/mes</b> |

|                    | <b>Tons/mes</b>        |                      |
|--------------------|------------------------|----------------------|
|                    | <b>Nitrógeno total</b> | <b>Fósforo total</b> |
| <b>Enero</b>       | 144.4                  | 35.5                 |
| <b>Febrero</b>     | 130.4                  | 32.0                 |
| <b>Marzo</b>       | 144.5                  | 35.5                 |
| <b>Abril</b>       | 140.0                  | 34.4                 |
| <b>Mayo</b>        | 143.9                  | 35.3                 |
| <b>Junio</b>       | 139.2                  | 34.2                 |
| <b>Julio</b>       | 144.5                  | 35.5                 |
| <b>Agosto</b>      | 144.1                  | 35.4                 |
| <b>Septiembre</b>  | 139.1                  | 34.2                 |
| <b>Octubre</b>     | 143.8                  | 35.3                 |
| <b>Noviembre</b>   | 139.6                  | 34.3                 |
| <b>Diciembre</b>   | 144.5                  | 35.5                 |
| <b>Total anual</b> | <b>1,698.0</b>         | <b>417.1</b>         |

Gráfica 2. Producción mensual de nutrientes con origen de aguas residuales municipales.

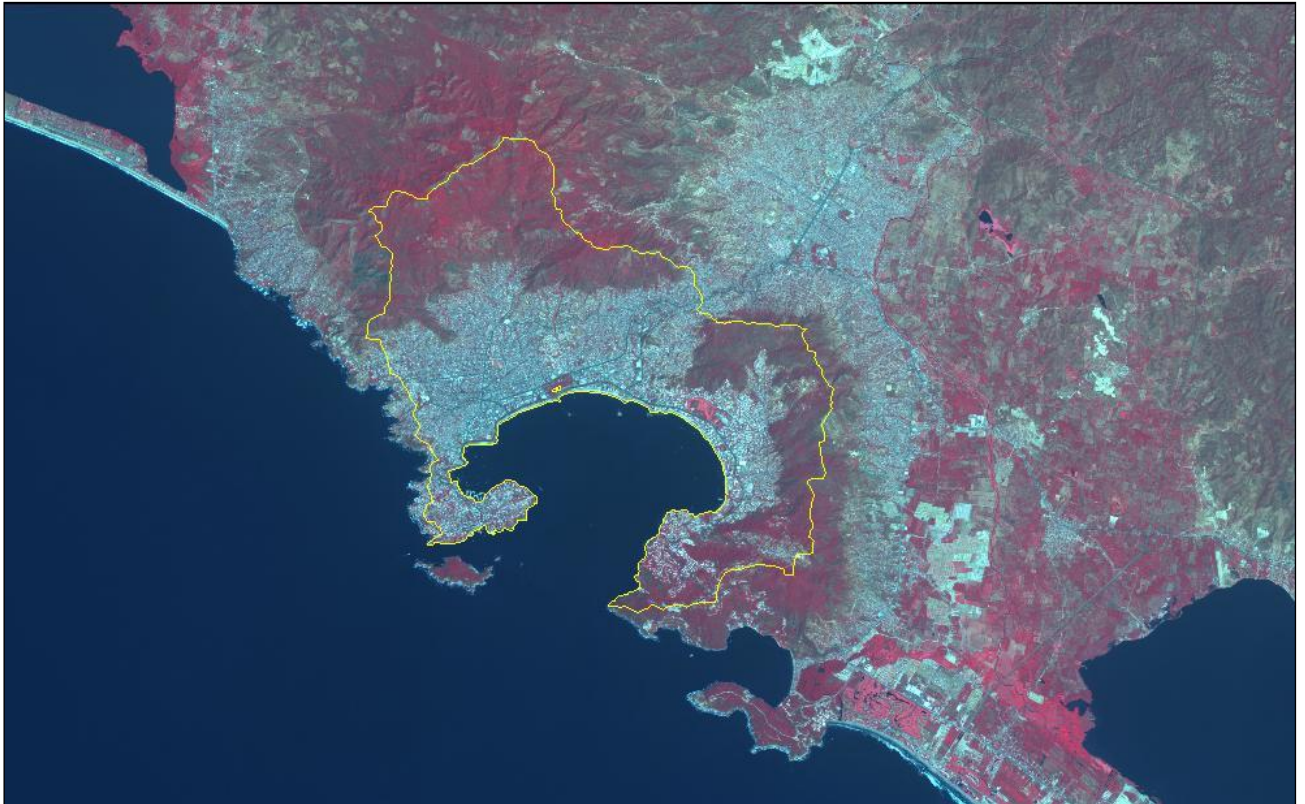


En este gráfico, podemos apreciar la producción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) provenientes de la producción de aguas residuales en forma mensual, durante un periodo anual en base a los datos de población fija (717,766 habitantes de acuerdo con el 2° conteo de Población y vivienda de INEGI 2005), población flotante anual (3,258,137 habitantes hasta finales del año 2006 de acuerdo con la Secretaría de Fomento Turístico de Acapulco Gro.) además de la demanda per cápita de agua potable (330 litros, de acuerdo a CONAGUA) y con un retorno de aguas residuales estimado en el 70%, este cálculo está desglosado en la tabla 9.

## 7.5 Modelo GWLF

Para la aplicación del modelo GWLF se consideró como área de estudio la cuenca del anfiteatro de Acapulco de Juárez, en el Municipio del mismo nombre, en el estado de Guerrero, en donde se ubica el principal asentamiento humano del municipio; cuya superficie es de 5,555.13 hectáreas.

Figura 6. Delimitación del área de estudio.



Las coberturas requeridas para la calibración del modelo son las siguientes:

1. Uso de suelo y vegetación (Landuse)
2. Modelo Digital de Elevación (Mde)
3. Contenido de Nitrógeno en Agua Subterránea (Gwn).
4. Contenido de Fósforo en el Suelo (SoilP).
5. Ríos o Corrientes de Agua (Streams).
6. Estaciones Climatológicas (Weathsta).
7. Descarga de Fuentes Puntuales (Pointsrc).
8. Tipo de suelo o edafología (Soils).
9. Coeficientes USLE (County).
10. Densidad Animal (Zipcode).
11. Sistemas Sépticos (Censustr).

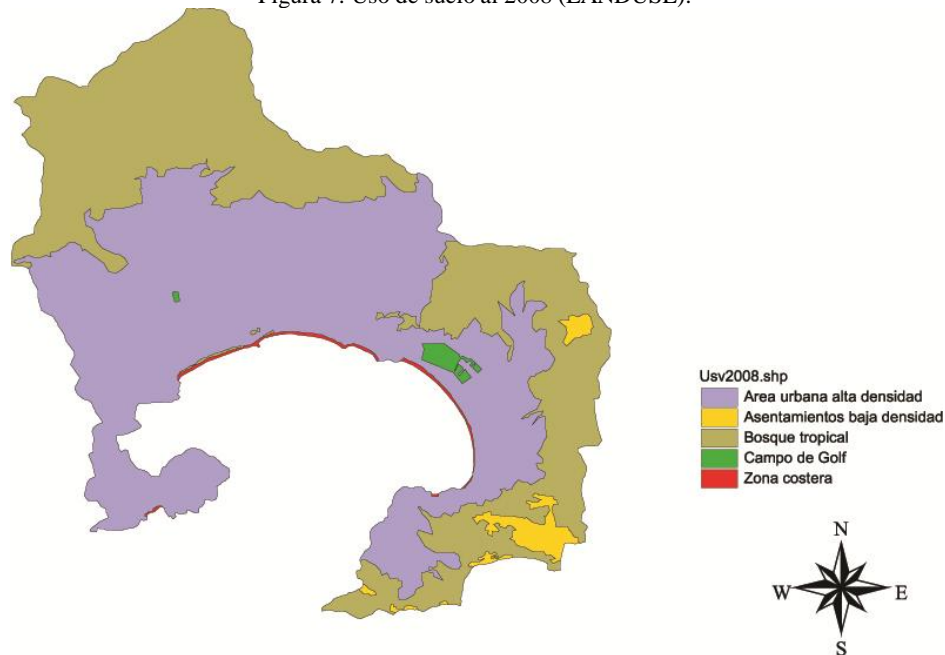
### 7.5.1 Uso del suelo y vegetación (Landuse)

Se clasificó el uso del suelo para la cuenca de Acapulco de Juárez asignándole un valor entero a cada uso para fines de modelación, de acuerdo a la información de imágenes satelitales de Marzo de 2008. Adicionalmente en la tabla 10 se puede observar el porcentaje de área ocupada por cada uso.

Tabla 10 Uso de suelo.

| Uso de suelo                           | Valor | Superficie Ha | % superficie total |
|--|-------|---------------|--------------------|
| Asentamientos humanos de baja densidad | 2     | 113.84 Ha     | 2.02%              |
| Área urbana de alta densidad           | 3     | 2984.59 Ha    | 52.85%             |
| Campo de golf                          | 5     | 34.13 Ha      | 0.60%              |
| Bosque tropical                        | 7     | 2484.33 Ha    | 43.99%             |
| Zona costera                           | 14    | 30.13 Ha      | 0.53%              |

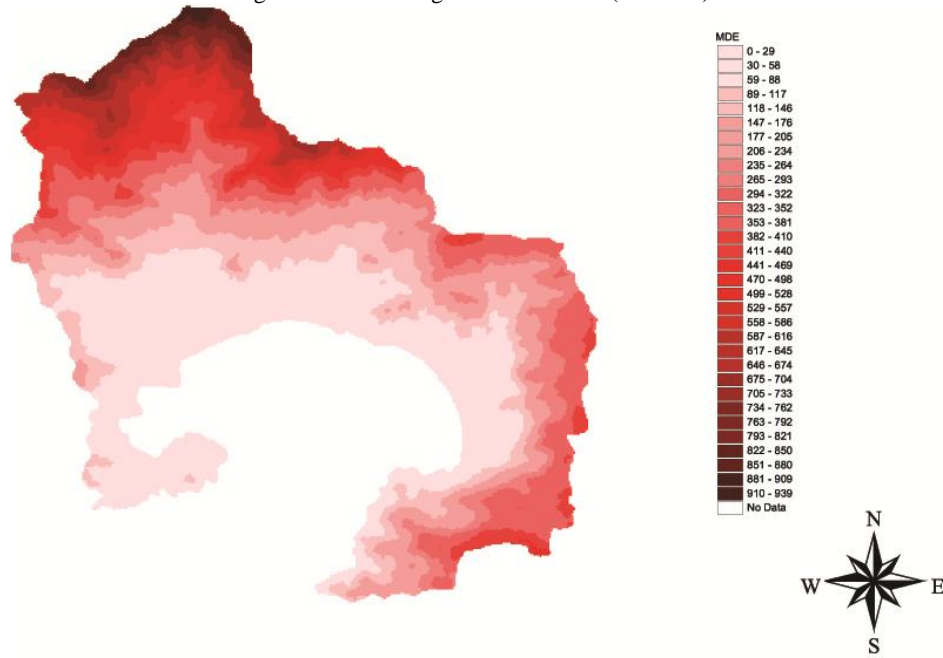
Figura 7. Uso de suelo al 2008 (LANDUSE).



### 7.5.2 Modelo digital de elevación (Padem)

El modelo digital de elevación se construyó con la carta topográfica E14C57 escala 1 a 50,000 del INEGI. La variación de los niveles varía entre 0 hasta 939 msnm. La malla que contiene el modelo digital de elevación de la cuenca del anfiteatro de Acapulco de Juárez se muestra en la figura 8.

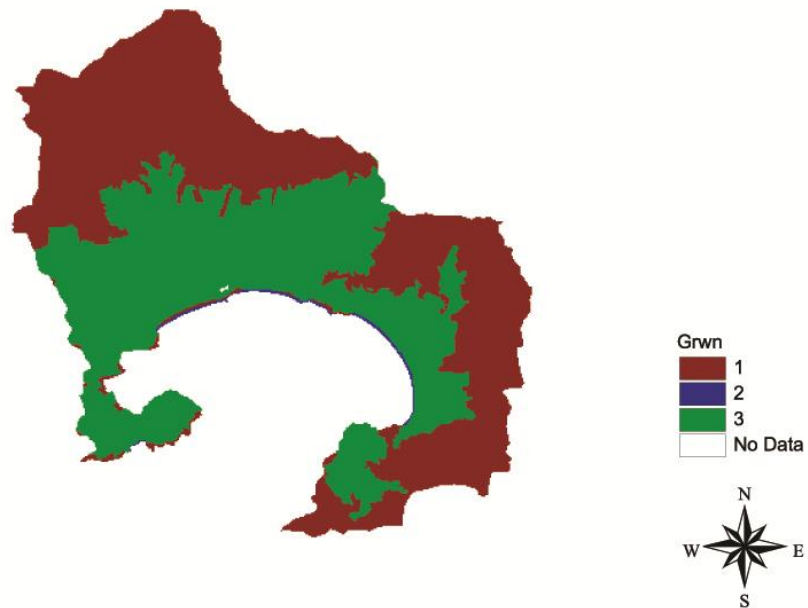
Figura 8. Modelo Digital de Elevación (PADEM).



### 7.5.3 Contenido de nitrógeno en agua subterránea (Gwn)

Se programó un muestreo para determinar contaminación por nitrógeno en pozos de aprovechamiento y norias para suministro de agua potable, así como para georeferenciarlos. Estos pozos son operados por el organismo operador CAPAMA. Esta información es utilizada por el modelo para estimar la carga de nutrientes en la cuenca. En la primera fase de este modelo se contempló el uso de la información de uso de suelo para la construcción de la malla.

Figura 9. Nitrógeno en pozos y norias para abastecimiento (GWN).



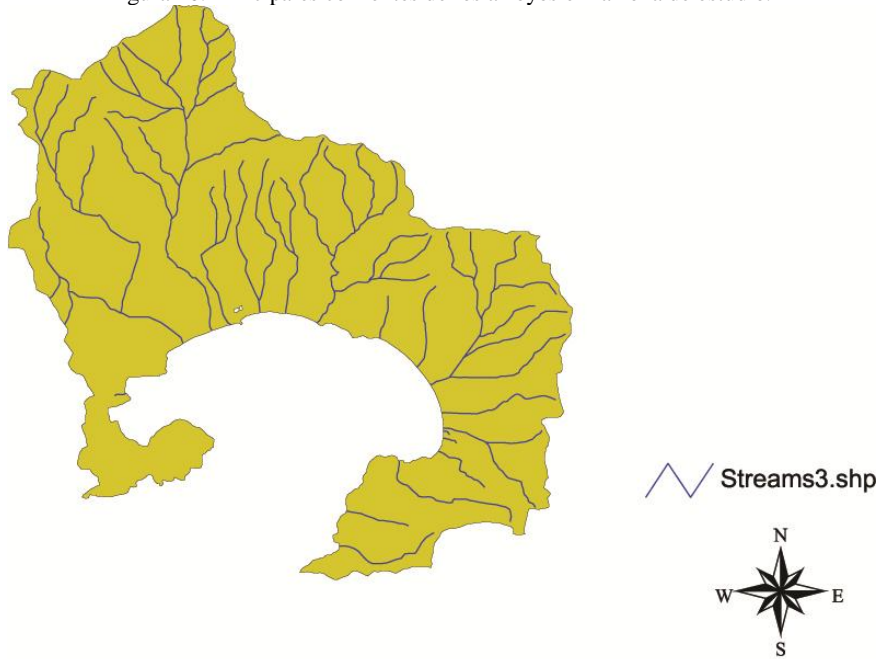
#### 7.5.4 Contenido de Fósforo en el Suelo (SOILP)

Para la malla de concentración de fósforo en el suelo y por falta de información, se asociaron valores de contenido de fósforo de acuerdo al tipo y textura del suelo en la zona estudiada, ya que aún no se cuenta con datos experimentales.

#### 7.5.5 Ríos o corrientes de agua (STREAMS)

La figura 10 muestra los principales arroyos y ríos de la cuenca de anfiteatro de Acapulco de Juárez. Esta cobertura fue hecha de la carta ríos y vías de conducción del agua, E14C57, escala 1:50,000 de INEGI.

Figura 10. Principales corrientes de los arroyos en la zona de estudio.



### 7.5.6 Estaciones climatológicas (WEATHSTA)

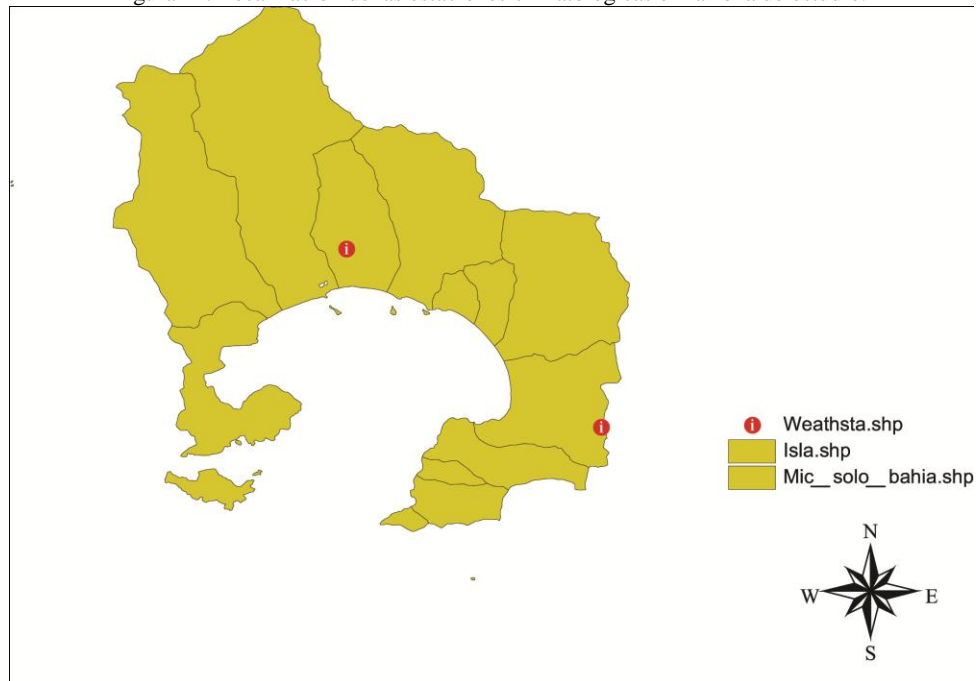
Esta capa identifica la ubicación de las estaciones y el archivo que contiene la información de precipitación y temperaturas máxima y mínima. Esta información contiene dos estaciones con un periodo de registro de 1980 a 2005<sup>58</sup>. En la tabla 11 se muestra la información incluida.

Tabla 11 Información contenida en la tabla de atributos de la capa Weathsta.

| Ubicación          | Sta_id | Begyear | Endyear | Latitud | Longitud |
|--------------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| Acapulco de Juárez | 12208  | 1981    | 2005    | 16.8666 | -99.8833 |
| Acapulco de Juárez | 12142  | 1981    | 2005    | 16.8333 | -99.8833 |

Estas estaciones se muestran en la figura 11.

Figura 11. Localización de las estaciones climatológicas en la zona de estudio.



### 7.5.7 Descarga de fuentes puntuales (POINTSRC)

Esta cobertura contiene los datos de aporte de nitrógeno (TOTAL\_N) y fósforo (TOTAL\_P) de fuentes puntuales en la cuenca; la información se da en kg/año y se obtiene de los datos de generación de aguas residuales municipales e industriales. Para el caso del presente estudio las fuentes puntuales se tomaron de dos descargas de aguas residuales municipales ubicadas en La Mira y Mozimba.

El campo PTEDIT lo utiliza el modelo para seleccionar datos anuales o mensuales según el siguiente caso: Cuando se tiene el valor de 0 el modelo toma la carga total anual (TOTAL\_N Y TOTAL\_P) y cuando es 1 el modelo toma las cargas distribuidas mensualmente. La información mostrada en la tabla 12 fue obtenida de la estimación de afluencia turística y población base para el año 2006, de acuerdo con información de la Secretaria de Fomento Turístico del municipio y en base al dato de demanda diaria per cápita, por la CONAGUA (330 litros diarios).

Tabla 12 Atributos de las descargas de fuentes puntuales.

| NOMBRE        | LONGITUD | LATITUD | PTEDIT | ID | TOTAL_N   | TOTAL_P   | JAN_N    | FEB_N    |
|---------------|----------|---------|--------|----|-----------|-----------|----------|----------|
| Mozimba       | -99.9229 | 16.8594 | 1      | 1  | 208138.00 | 55503.00  | 17677.00 | 15967.00 |
| Aguas Blancas | -99.9216 | 16.8534 | 1      | 2  | 686495.00 | 183065.00 | 58305.00 | 52663.00 |

| NOMBRE        | MARCH_N    | APRIL_N    | MAY_N | JUNE_N | JULY_N   | AUGUST_N | SEPT_N   | OCT_N    |
|---------------|------------|------------|-------|--------|----------|----------|----------|----------|
| Mozimba       | 17677.0000 | 17107.0000 | 17677 | 17107  | 17677.00 | 17677.00 | 17107.00 | 17677.00 |
| Aguas Blancas | 58305.0000 | 56424.0000 | 58305 | 56424  | 58305.00 | 58305.00 | 56424.00 | 58305.00 |



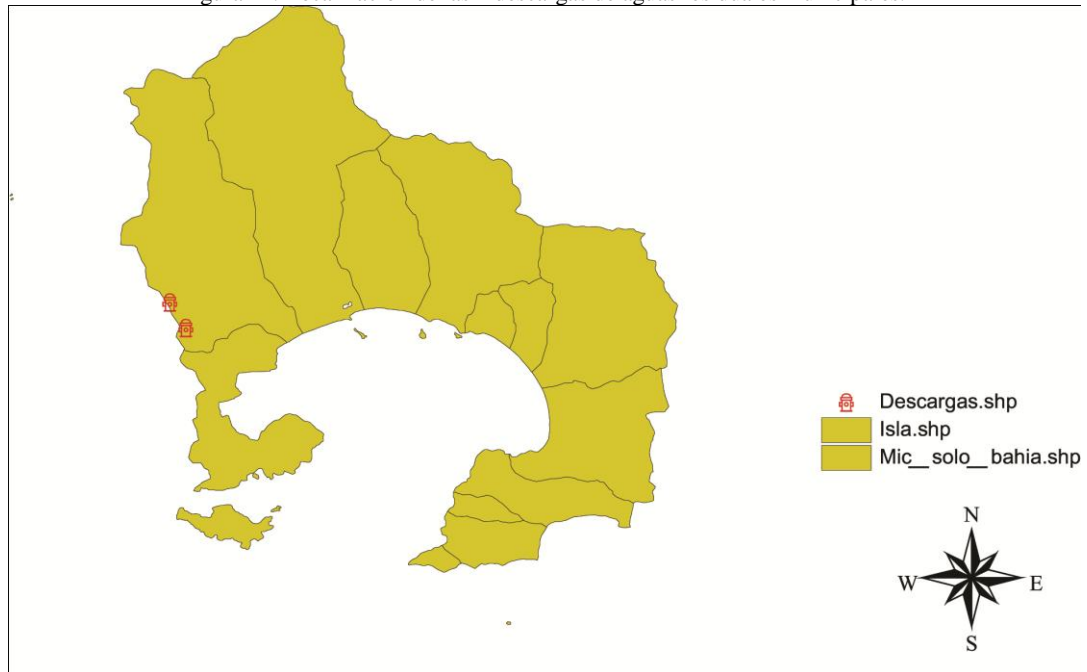
| NOMBRE        | NOV_N      | DEC_N      | JAN_P | FEB_P | MARCH_P  | APRIL_P  | MAY_P    | JUNE_P   |
|---------------|------------|------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
| Mozimba       | 17107.0000 | 17677.0000 | 4717  | 4258  | 4717.00  | 4714.00  | 4717.00  | 4714.00  |
| Aguas Blancas | 56424.0000 | 58305.0000 | 15548 | 14043 | 15548.00 | 15548.00 | 15548.00 | 15548.00 |

| NOMBRE        | JULY_P     | AUGUST_P   | SEPT_P | OCT_P | NOV_P    | DEC_P    | JAN_FL | FEB_FL |
|---------------|------------|------------|--------|-------|----------|----------|--------|--------|
| Mozimba       | 4717.0000  | 4717.0000  | 4714   | 4717  | 4714.00  | 4717.00  | 152.06 | 137.35 |
| Aguas Blancas | 15548.0000 | 15548.0000 | 15548  | 15548 | 15548.00 | 15548.00 | 501.55 | 453.01 |

| NOMBRE        | MARCH_FL | APRIL_FL | MAY_FL | JUNE_FL | JULY_FL | AUGUST_FL | SEPT_FL | OCT_FL |
|---------------|----------|----------|--------|---------|---------|-----------|---------|--------|
| Mozimba       | 152.0600 | 147.1600 | 152    | 147     | 152.06  | 152.06    | 147.16  | 152.06 |
| Aguas Blancas | 501.5500 | 485.3700 | 502    | 485     | 501.55  | 501.55    | 485.37  | 501.55 |

| NOMBRE        | NOV_FL   | DEC_FL   |
|---------------|----------|----------|
| Mozimba       | 147.1600 | 152.0600 |
| Aguas Blancas | 485.37   | 501.5500 |

Figura 12. Localización de las 2 descargas de aguas residuales municipales.



### 7.5.8 Tipo de suelo o edafología (SOILS)

En el área de estudio debido a que no se ha realizado el muestreo correspondiente, se relacionó la información con la textura y tipo de suelo de acuerdo con el uso y cobertura, identificándose dos tipos de suelos diferentes, los cuales se pueden ver en la tabla 13.

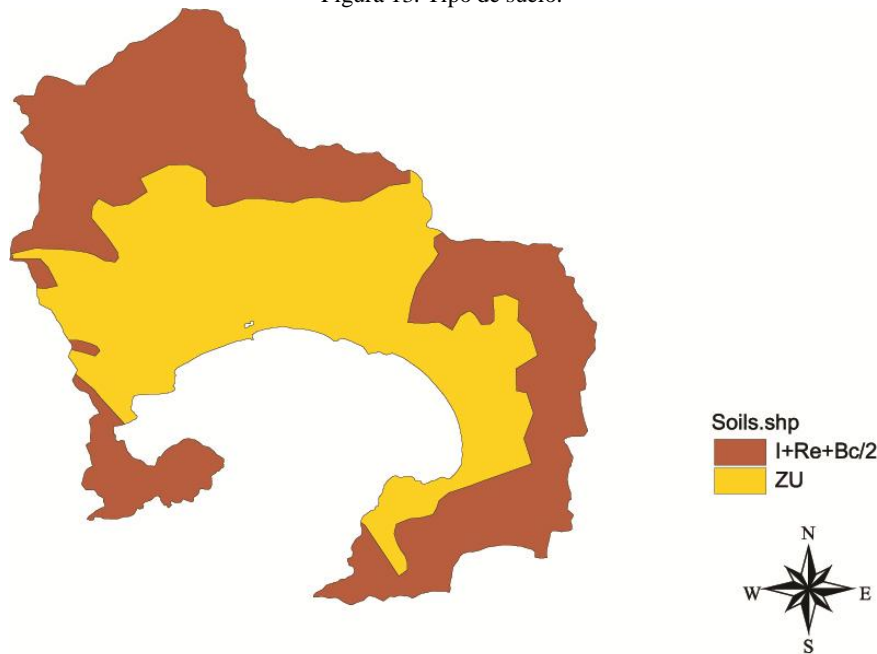
Tabla 13 Atributos del tipo de suelo en el anfiteatro de Acapulco de Juárez.

| Suelo   | Unidad         | Textura | Área Ha | MU_AWC | MUHSG_DOM | MU_KF | Soil_P |
|---------|----------------|---------|---------|--------|-----------|-------|--------|
| Litosol | Regosol Eurico | gruesa  | 2971.32 | 12     | C         | 0.013 | 180    |
| ZU      |                |         | 2583.82 | 12     | C         | 0     | 180    |

Donde MU\_KF es el factor de erosionabilidad del suelo (k) y es una medida de potencial inherente de la erosión del suelo, además es una función de la textura y de la composición del mismo. Este factor (que es uno de los factores usados en la ecuación de USLE) se ha determinado para cada tipo de suelo y es una de las cualidades contenidas dentro del mapa generalizado. Dentro del modelo, un valor del factor de k se calcula para cada tipo de suelo (es decir, para cada polígono) en la cuenca. MU\_AWC, se utiliza para representar el agua disponible en él y varía generalmente por el tipo de suelo. Los valores especificados deben estar en centímetros y deben reflejar el agua total que lleva a cabo la capacidad del perfil del suelo.

MUHSG\_DOM, es el campo que se utiliza para especificar el grupo hidrológico del suelo dominante para cada unidad. Cada polígono puede tener solamente un valor de texto de "A", "B", "C", o "D" y los campos para las áreas que no son suelo tales como cuerpos de agua y áreas urbanas se pueden dejar en blanco. En la Figura 13 se ilustra la distribución del tipo de suelo en la cuenca.

Figura 13. Tipo de suelo.



### 7.5.9 Coeficientes USLE (County)

Esta capa con polígonos interiores se utiliza para contener la información que pertenece a la ecuación universal de pérdida de suelo usada dentro del modelo GWLF. En hecho pueden ser polígonos que representen adecuadamente la variabilidad en estos factores dentro del área en estudio. También, los valores para estos factores no necesitan ser diferentes para cada sub-zona. Más específicamente, esta capa se utiliza para llevar a cabo las estimaciones de parámetros para factores de "C" y de "P" para diversos tipos de cobertura del suelo (pasto, cultivos y bosques). ver tabla 14.

Tabla 14 Atributos de la cobertura de County.

| NOMBRE_CUE            | M<br>C | Uso de suelo                  | GR<br>ID | C_CR<br>OP | C_PA<br>ST | C_WO<br>OD | P1   | P2   | P3   | P4   | P5   | Área<br>(ha) |
|-----------------------|--------|-------------------------------|----------|------------|------------|------------|------|------|------|------|------|--------------|
| Cuenca Bahía Acapulco | C<br>a | ZONA URBANA                   | 3        | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.66 | 0.00 | 33.12        |
| Cuenca Bahía Acapulco | C<br>e | ZONA URBANA                   | 3        | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.66 | 0.00 | 88.55        |
| Cuenca Bahía Acapulco | C<br>g | ASENTAMIENTOS HUMANOS         | 2        | 0.000      | 0.000      | 0.005      | 0.00 | 0.00 | 0.52 | 0.00 | 0.74 | 230.43       |
| Cuenca Bahía Acapulco | C<br>j | ASENTAMIENTOS HUMANOS         | 2        | 0.000      | 0.000      | 0.005      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.66 | 0.74 | 190.65       |
| Cuenca Bahía Acapulco | C<br>l | ASENTAMIENTOS HUMANOS         | 2        | 0.000      | 0.000      | 0.005      | 0.00 | 0.00 | 0.52 | 0.00 | 0.74 | 710.79       |
| Cuenca Bahía Acapulco | D<br>a | SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA  | 9        | 0.000      | 0.000      | 0.005      | 0.00 | 0.45 | 0.00 | 0.66 | 0.74 | 69.94        |
| Cuenca Bahía Acapulco | C<br>s | ASENTAMIENTOS HUMANOS         | 2        | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.74 | 48.29        |
| Cuenca Bahía Acapulco | D<br>b | SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA | 9        | 0.000      | 0.000      | 0.005      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.66 | 0.74 | 129.75       |
| Cuenca Bahía Acapulco | D<br>c | SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA | 9        | 0.000      | 0.000      | 0.005      | 0.00 | 0.00 | 0.52 | 0.00 | 0.74 | 27.17        |
| Cuenca Bahía Acapulco | C<br>n | SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA  | 9        | 0.000      | 0.000      | 0.005      | 0.00 | 0.45 | 0.52 | 0.66 | 0.74 | 667.07       |
| Cuenca Bahía Acapulco | C<br>q | SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA | 9        | 0.000      | 0.000      | 0.001      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.74 | 59.17        |
| Cuenca Bahía Acapulco | C<br>m | SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA  | 9        | 0.000      | 0.000      | 0.005      | 0.00 | 0.45 | 0.00 | 0.00 | 0.74 | 215.32       |

Donde C\_CROP es el factor representativo para áreas cultivadas, C\_PAST es el factor representativo para áreas con pastizales, C\_WOOD es el factor representativo para áreas boscosas; P1, P2, P3, P4 y P5 son factores representativos de la pendiente del terreno, los cuales son coeficientes de prácticas en contra de la erosión hídrica, que tienen rangos de 1.1-2%, 2.1-7%, 7.1-12%, 12.1-18% y > 18% respectivamente.

### 7.5.10 Densidad animal (Zipcode)

El modelo utiliza la información contenida en esta capa para estimar las concentraciones de nutrientes de estiércol en escurrimiento en el área de estudio. Esta información es usada en combinación con otros factores para cuantificar también el grado de erosión ocurrida con la red hidrológica de la cuenca. En este caso la densidad animal es expresada en términos de unidades equivalentes de animal (AEU) por acre, donde un AEU es equivalente a 1000 libras de peso

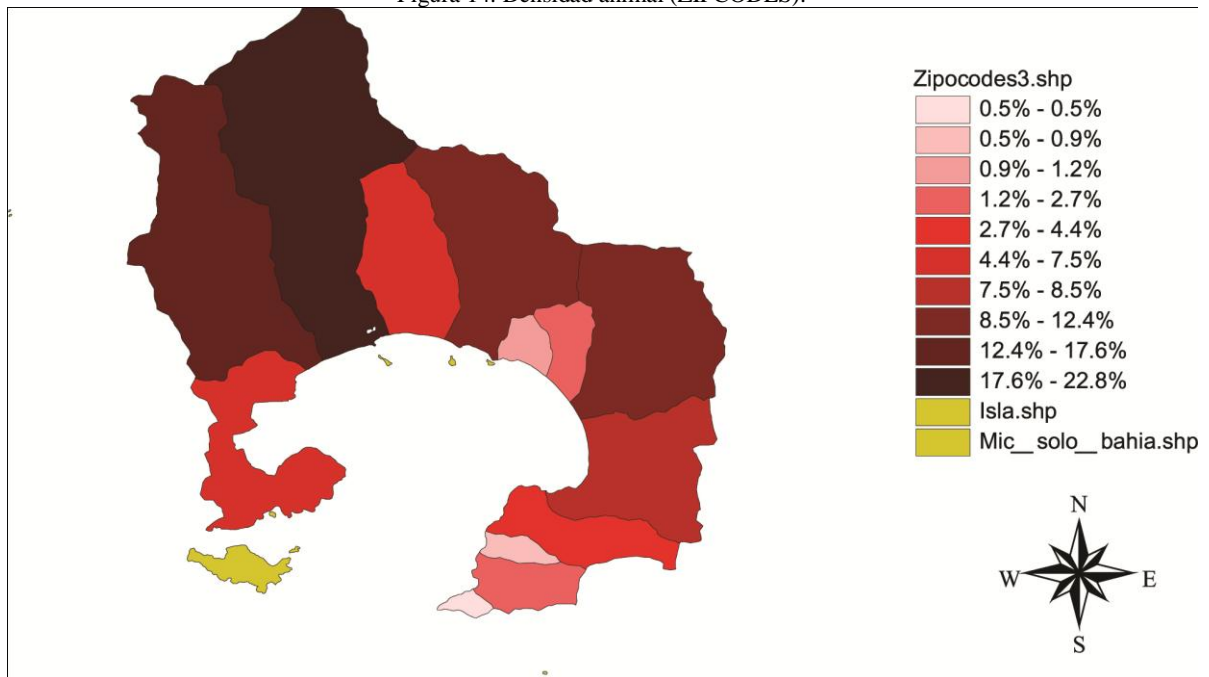
animal. En esta capa se tomaran en cuenta animales que están en contacto directo con el suelo tales como vacas, cerdos, ovejas, cabras, caballos, entre otros.

El único campo requerido para esta capa es AEU\_ACRE el cual representa la densidad animal en cada polígono, para nuestro caso se tiene un polígono que es la cuenca en estudio. Este valor normalmente tiene un rango de 0 a 1. Para la zona en estudio se determinó un valor de 0.03 Unidades equivalentes de Animal.

Tabla 15 Densidad animal.

| MC | BOVINO | PORCINO | OVINO | CAPRINO | EQUINO | AVES | GUAJOLOTES |
|----|--------|---------|-------|---------|--------|------|------------|
| Cn | 3      | 4       | 0     | 0       | 4      | 44   | 2          |
| Dc | 0      | 0       | 0     | 0       | 0      | 2    | 0          |
| Da | 0      | 0       | 0     | 0       | 0      | 3    | 0          |
| Db | 1      | 1       | 0     | 0       | 1      | 10   | 1          |
| Cs | 1      | 1       | 0     | 0       | 1      | 16   | 1          |
| Cq | 2      | 3       | 0     | 0       | 3      | 31   | 2          |
| Cm | 0      | 1       | 0     | 0       | 1      | 8    | 0          |
| Cm | 0      | 0       | 0     | 0       | 0      | 4    | 0          |
| Cl | 3      | 4       | 0     | 0       | 4      | 45   | 2          |
| Cj | 2      | 2       | 0     | 0       | 2      | 27   | 1          |
| Ca | 2      | 3       | 0     | 0       | 2      | 27   | 1          |
| Ce | 4      | 6       | 0     | 0       | 5      | 64   | 3          |
| Cg | 5      | 8       | 0     | 0       | 7      | 83   | 4          |

Figura 14. Densidad animal (ZIPCODES).



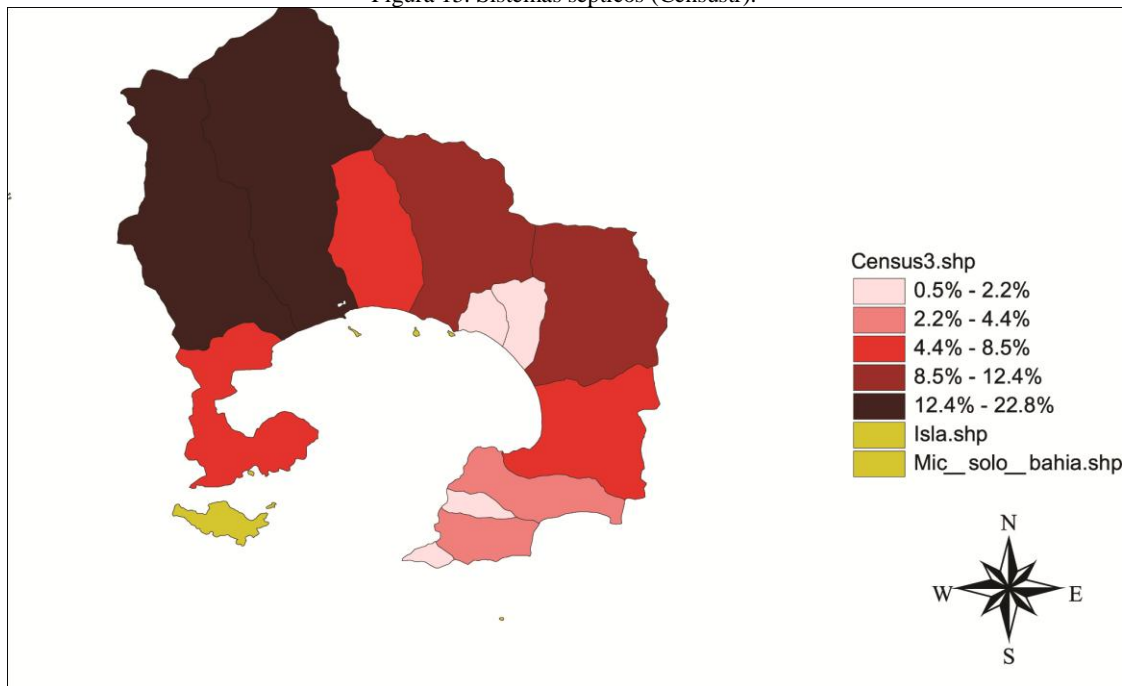
### 7.5.11 Sistemas sépticos (Censustr)

De esta cobertura se obtiene la información del número de habitantes que descargan sus aguas residuales a sistemas públicos, sépticos o de otro tipo (SEW\_PUB, SEW\_SEPT, SEW\_OTH). Esta información se puede ver en el tabla 16.

Tabla 16 Atributos de la capa Censustr.

| MC | Área (ha) | PORCENTAJE | TRACT | SEW_SEPT | SEW_PUB | SEW_OTH |
|----|-----------|------------|-------|----------|---------|---------|
| Cn | 667.07    | 12.008     | 1     | 4793     | 11938   | 3430    |
| Dc | 27.17     | 0.489      | 2     | 195      | 486     | 140     |
| Da | 50.04     | 0.901      | 3     | 360      | 896     | 257     |
| Db | 149.65    | 2.694      | 4     | 1075     | 2678    | 769     |
| Cs | 243.39    | 4.381      | 5     | 1749     | 4356    | 1251    |
| Cq | 471.83    | 8.494      | 6     | 3390     | 8444    | 2426    |
| Cm | 119.71    | 2.155      | 7     | 860      | 2142    | 615     |
| Cm | 67.31     | 1.212      | 8     | 484      | 1205    | 346     |
| Cl | 689.47    | 12.411     | 9     | 4954     | 12339   | 345     |
| Cj | 406.75    | 7.322      | 10    | 2922     | 7279    | 2091    |
| Ca | 416.37    | 7.495      | 11    | 2992     | 7451    | 2141    |
| Ce | 978.31    | 17.611     | 12    | 7029     | 17508   | 5030    |
| Cg | 1268.06   | 22.827     | 13    | 9111     | 22693   | 6519    |

Figura 15. Sistemas sépticos (Censustr).



## 7.6 Resultados de la modelación de la cuenca completa

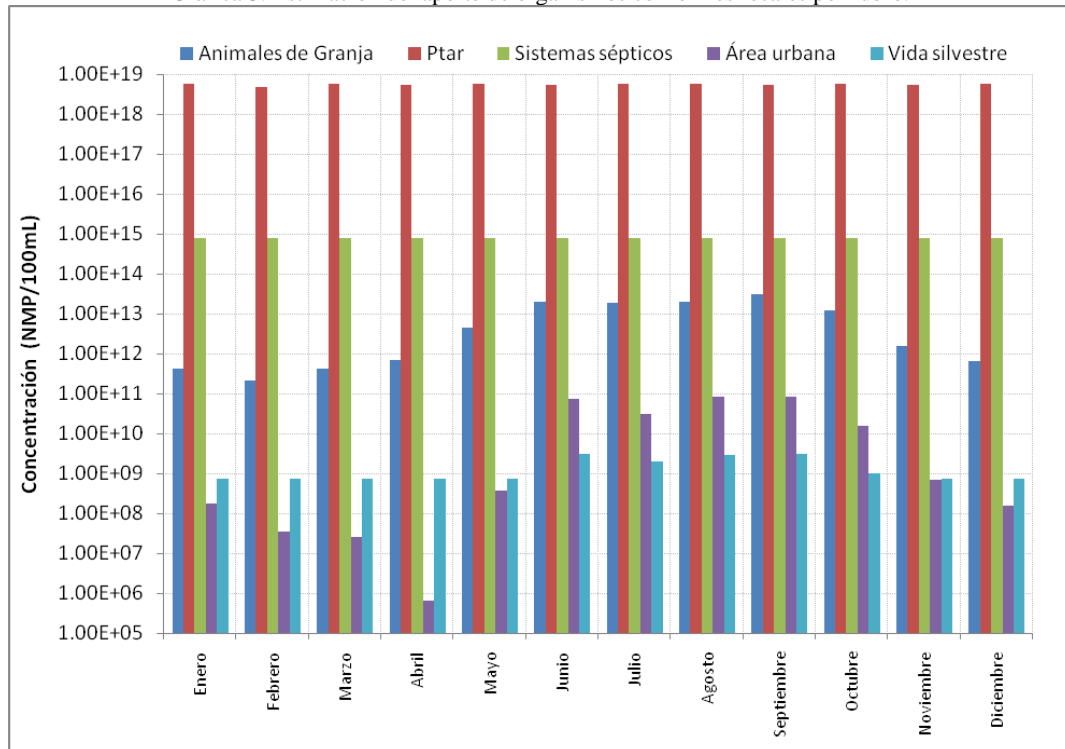
El modelo se corrió con los datos de clima de 25 años (1981 a 2005)<sup>58</sup> y se obtuvieron los siguientes datos calculados por la modelación con el programa GWLF.

Para el caso de la densidad animal, se tomaron como datos de entrada para el cálculo de arrastre por densidad animal en la cuenca, con los siguientes datos de conteo animal:

- Ganado vacuno 23 cabezas.
- Aves de corral 363 cabezas.
- Ganado porcino 34 cabezas.
- Ganado equino 31 cabezas.
- Guajolotes 19 cabezas.

Y se calculó en base a estos datos el aporte de nitrógeno y fósforo debido a las excretas de los mismos, así como para la estimación de los organismos coliformes fecales.

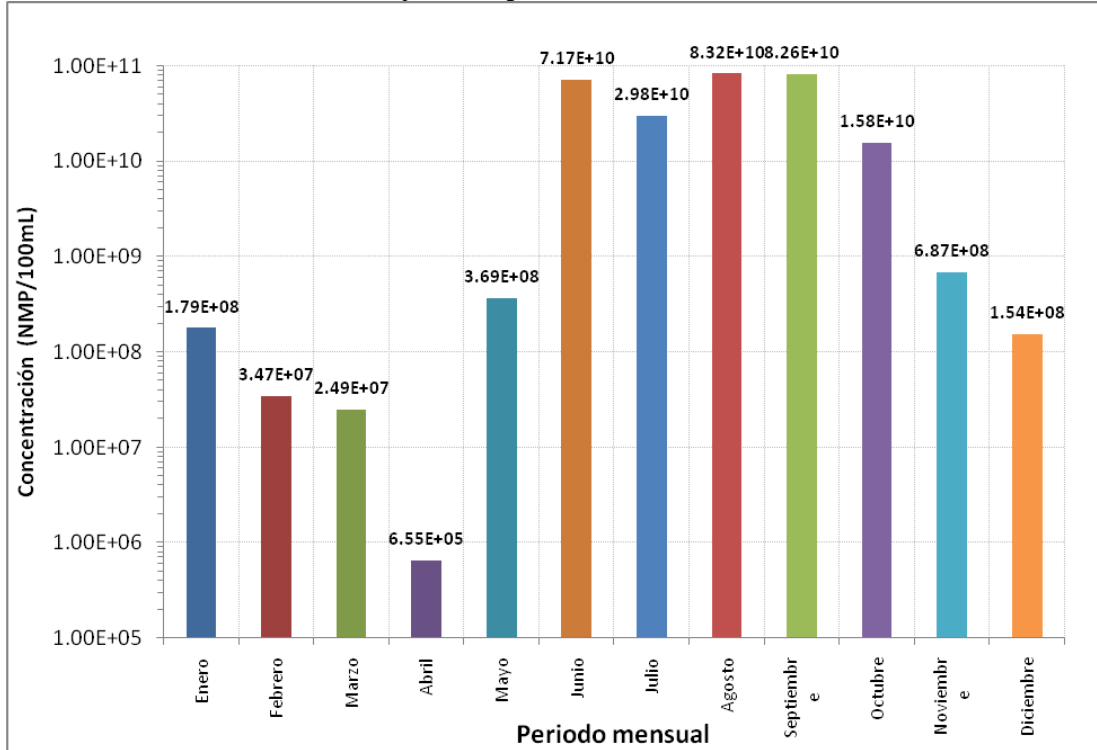
Gráfica 3. Estimación del aporte de organismos coliformes fecales por rubro.



Para el aporte de la carga de los organismos patógenos (coliformes fecales) provenientes de las descargas de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, se tomó como la media de las concentraciones de este parámetro en las muestras colectadas en campo durante el primer periodo de muestreo en campo en el mes de Marzo del presente año, siendo esta concentración  $2.49 \cdot 10^7$  NMP/100mL. Además, de igual forma se minimizó el aporte de la fauna silvestre (estimada como el número de venados/milla cuadrada, de acuerdo al programa del modelo GWLF), siendo esta densidad minimizada con un rango de 0.5 animales/milla cuadrada, teniendo como aporte de coliformes fecales una estimación de  $5.0 \cdot 10^8$  organismos/animal/por día. En la gráfica 3 se puede observar que el rubro de área urbana es el que cuenta con la menor

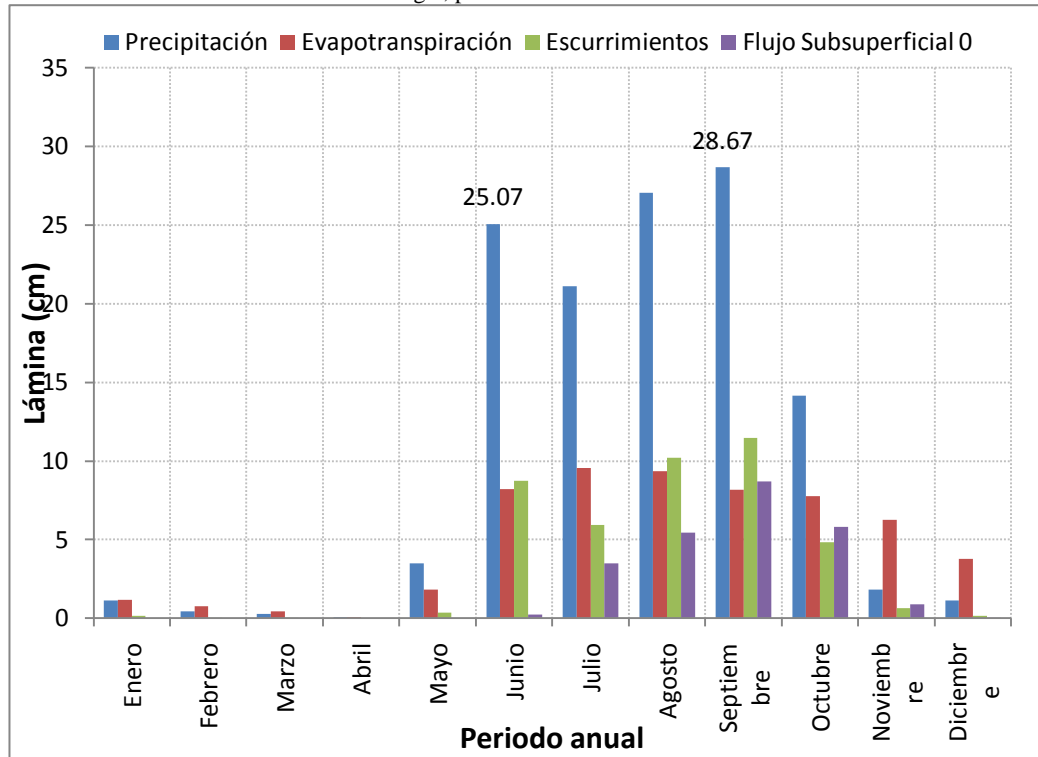
contribución a la carga total encontrándose 8 órdenes de magnitud por debajo del principal rubro, el cual es el de las descargas puntuales de aguas residuales, seguido de los sistemas sépticos y los animales de granja.

Gráfica 4. Estimación del aporte de organismos coliformes fecales en el rubro Urbano.



En el gráfico 4, se puede observar la variación en el aporte mensual de los organismos coliformes fecales, pudiendo notar que tiene las concentraciones de dichos organismos al inicio del año tiende a disminuir hasta encontrar el punto más bajo en el mes de Abril que es la plenitud de la época de estiaje; a partir de este mes la tendencia tiende a incrementarse durante los meses de lluvia, encontrando su máximo en el mes de Septiembre, en donde se encuentran las mayores cuantificaciones de precipitación y lavado de la cuenca por arrastre de materia orgánica.

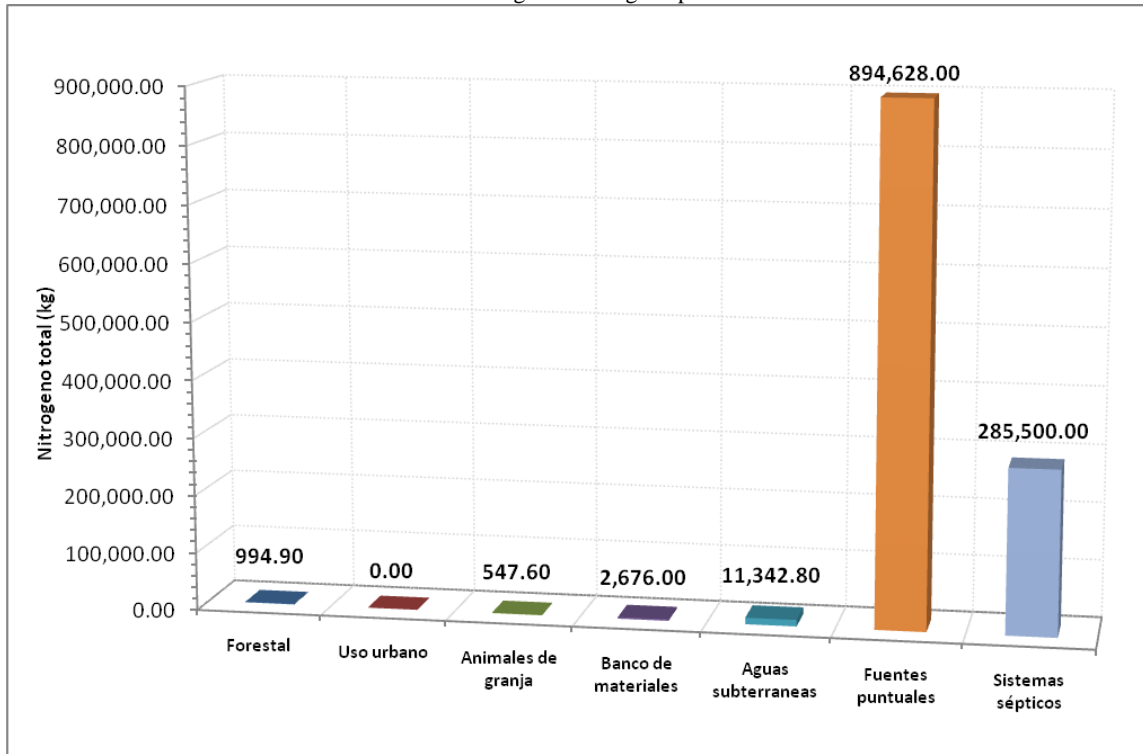
Gráfica 5. Hidrología, promedio con 25 años de modelación.



En la gráfica 5, se puede observar, la estimación de la lámina de lluvia por mes, de acuerdo a los datos de climatología, en la que se destaca que los meses de mayor precipitación en el área de estudio, son de Junio a Octubre, siendo el de mayor precipitación el de Septiembre, en donde se tienen 28.67 cm de lámina de lluvia. En esta Figura se puede apreciar el inicio del periodo de lluvias en el mes de Junio, en donde se modeló una cantidad de 25.07 cm de lámina de lluvia, para decaer ligeramente en el mes de Julio y nuevamente incrementa hasta llegar a su máximo en el mes de Septiembre, y luego, disminuir paulatinamente a lo largo de la época de estiaje hasta encontrar el punto mínimo anual de precipitación en Abril. En cuanto a la lámina de evapotranspiración se puede observar el mismo patrón de comportamiento, en donde la máxima lámina de evapotranspiración se encuentra en el mes de Julio, debido a que después de las primeras lluvias en el mes de Junio estas decaen ligeramente y se ve favorecida la evapotranspiración por la temperatura ambiental. Las corrientes superficiales, tienen un comportamiento directamente proporcional a la precipitación, ya que en Junio, se incrementan a comienzo de la temporada de lluvias, para disminuir ligeramente en el mes de Julio, para alcanzar su máximo en el mes de Septiembre y disminuyen paulatinamente hasta acercarse a su mínimo anual en el mes de Abril, en donde, de acuerdo a la modelación, no hay escurrimiento en este mes, que es el de máxima plenitud de la temporada de estiaje.

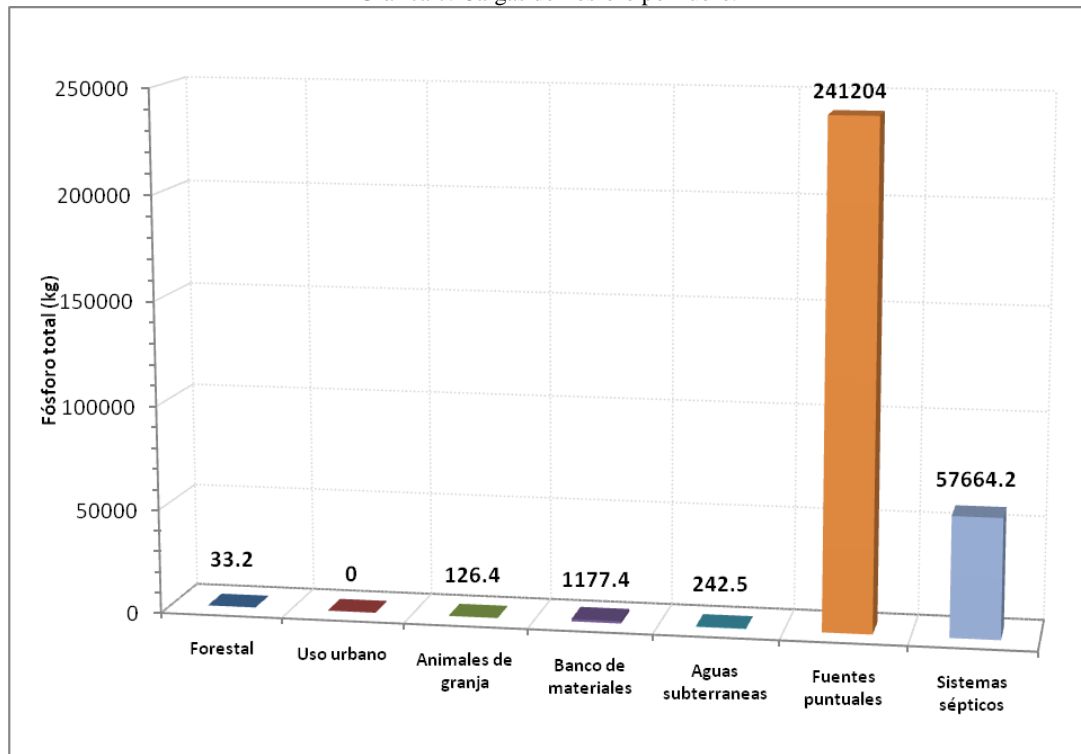


Gráfica 6. Cargas de nitrógeno por rubro.



En la gráfica 6, se observa el aporte de nitrógeno en la cuenca, debido a varios rubros, de los cuales el mayor aporte al sistema son las fuentes puntuales, con 894.6 toneladas anuales, seguido del aporte debido a los sistemas sépticos, los cuales contribuyen con 285.5 toneladas, además de las aguas subterráneas con 11.3 toneladas anuales, en cambio, los niveles de aporte de nitrógeno debida al uso de suelo forestal solo alcanzan 0.99 toneladas anuales, siendo el aporte por animales de granja, el que menos presenta la cuenca con 0.547 toneladas anuales.

Gráfica 7. Cargas de Fósforo por rubro.



Se muestra en la gráfica 7 el aporte de fósforo en la cuenca debido a varios rubros, en los cuales el mayor aporte lo tiene el de las fuentes puntuales o descargas residuales, con 241.2 toneladas anuales, mientras que en segundo lugar lo tienen los sistemas sépticos con 57.6 toneladas anuales, a diferencia de los rubros como animales de granja y zona forestal que aportan solo 0.12 y 0.033 toneladas anuales, respectivamente.

### 7.7 Análisis por micro cuenca.

Para la modelación por micro cuenca, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Disminución en la densidad animal de fauna silvestre al mínimo, es decir, la densidad animal mínima aceptable por el modelo, el cual es de 0.1 venados/milla cuadrada.

Los datos del censo animal que fueron considerados para la elaboración de esta modelación por micro cuencas se representan en la tabla 17.

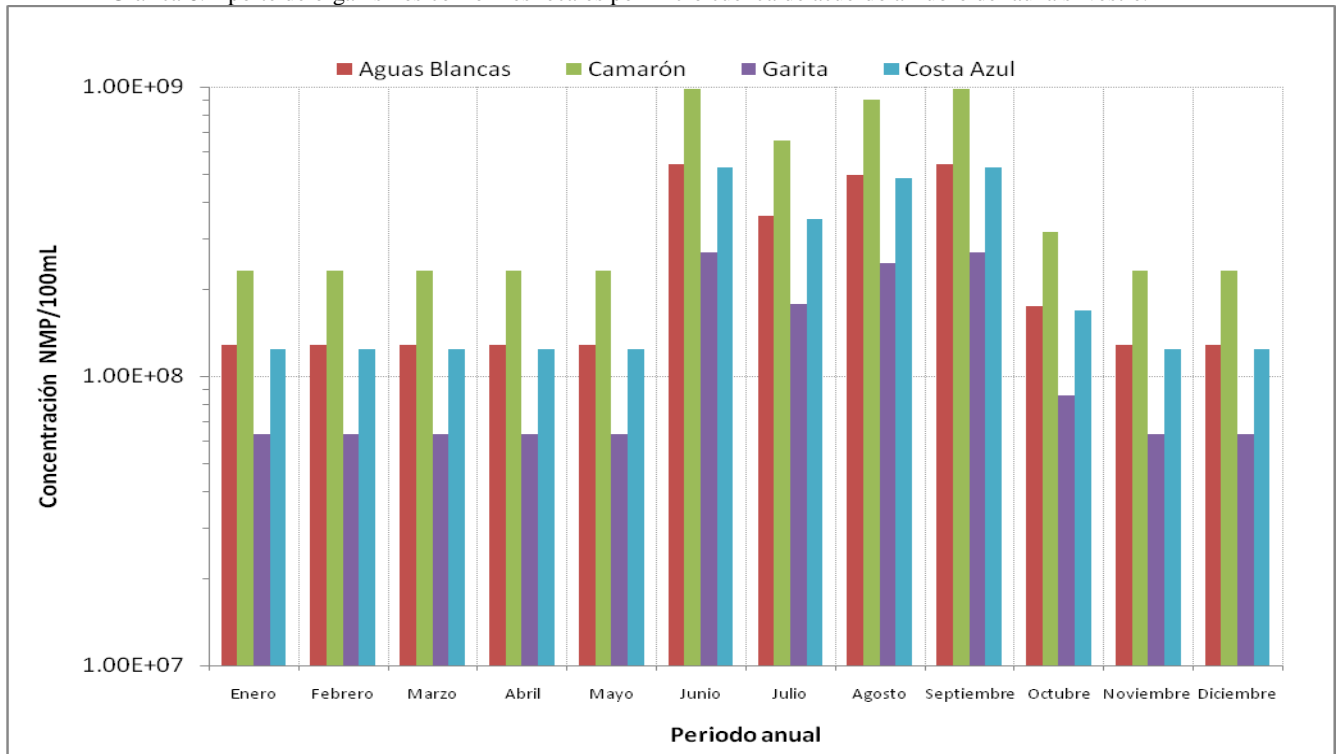
Tabla 17 Datos de censo animal a considerar para las 4 micro cuencas.

| Cuenca        | Ganado Bobino | Ganado Porcino | Ganado Equino | Aves de corral | Guajolotes | Colif. Fec. (NMP/100mL) de descargas de aguas residuales.* |
|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|------------|--|
| Costa Azul    | 3             | 4              | 4             | 44             | 2          | $2.95 \cdot 10^9$  |
| La Garita     | 3             | 4              | 4             | 45             | 2          | $5.57 \cdot 10^9$  |
| Aguas Blancas | 4             | 6              | 5             | 64             | 3          | $3.26 \cdot 10^7$  |
| Camarón       | 5             | 8              | 7             | 83             | 4          | $2.33 \cdot 10^7$  |

Los datos de la concentración de coliformes fecales, son el resultado del promedio de una serie de análisis de calidad microbiológica del agua de los arroyos Aguas Blancas, El Camarón, La Garita y Costa Azul en 2 periodos de escurrimiento durante las primeras lluvias del temporal.

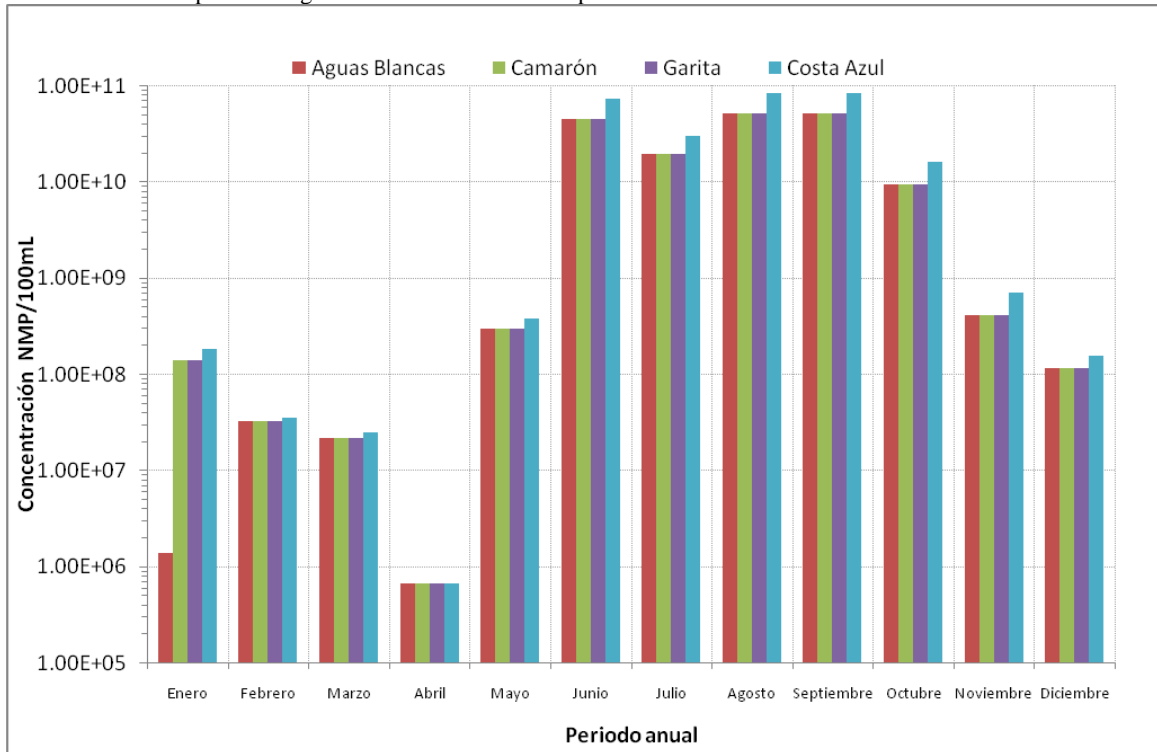
Los datos de las estaciones de clima se mantienen en un periodo de 25 años, de 1981 a 2005.<sup>58</sup>

Gráfica 8. Aporte de organismos coliformes fecales por micro cuenca de acuerdo al rubro de fauna silvestre.



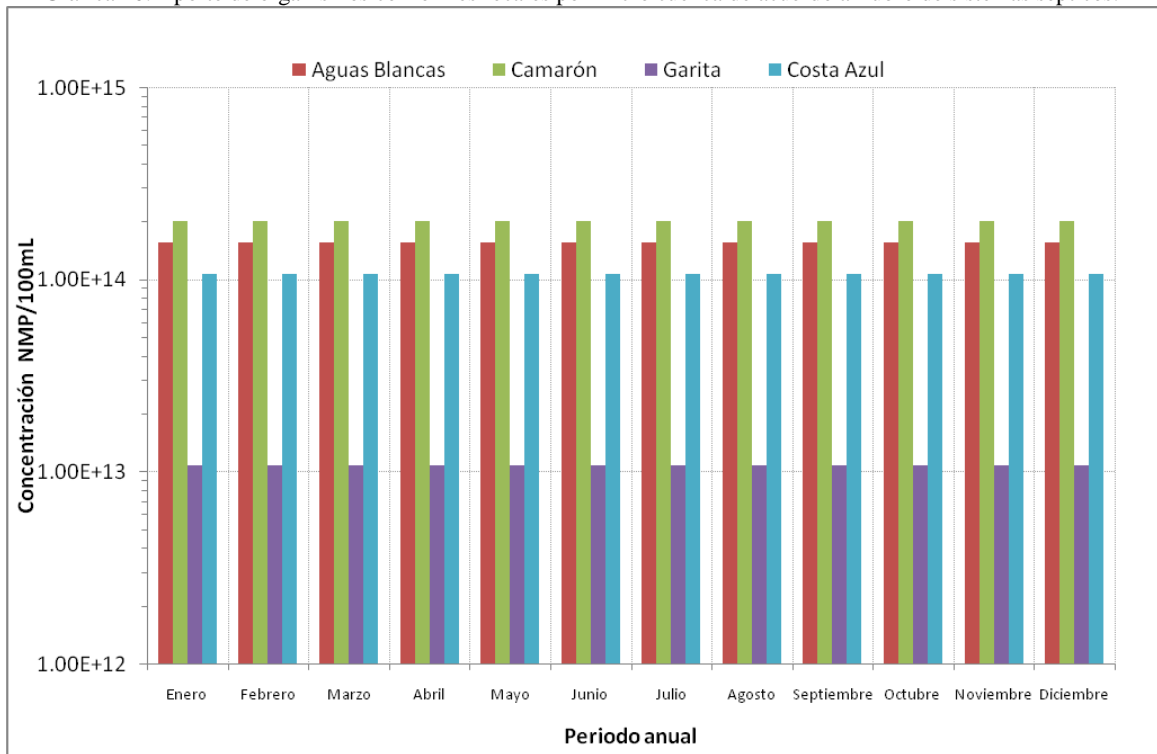
De acuerdo con los datos de la modelación, la micro cuenca que tiene mayor aporte de organismos fecales debido al rubro de fauna silvestre es El Camarón, seguidas de la de Aguas Blancas, siendo menores las de Costa Azul y La Garita. El aporte de dichos microorganismos coliformes fecales, presentan claramente un aumento en los meses de Junio a Septiembre coincidiendo con la temporada de lluvias y el arrastre de nutrientes depositados en el suelo, estas concentraciones anuales pico son debidas al aporte por fauna silvestre alcanza ordenes de hasta  $10^9$ , siendo las concentraciones más bajas las calculadas del orden de  $10^7$ .

Gráfica 9. Aporte de organismos coliformes fecales por micro cuenca de acuerdo al rubro de área urbana.



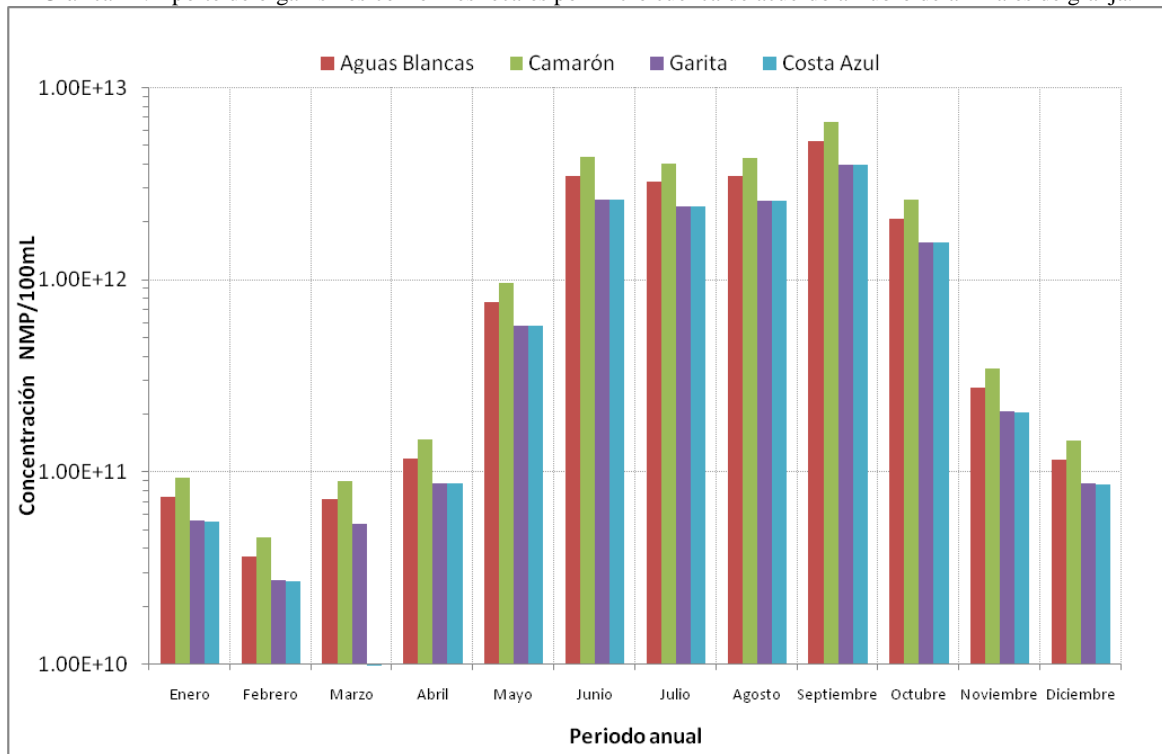
El aporte de organismos coliformes fecales en la zona urbana, se mantienen muy similares en las cuatro microcuencas, con un ligero despunte en la cuenca Costa Azul en la temporada de lluvias en los meses de Junio a Septiembre (alcanzando su máximo en el mes de Agosto, en un orden de  $10^{10}$ ) y hasta Noviembre. En el mes de Enero la micro cuenca de Aguas Blancas, es la de menor contribución en casi dos órdenes de magnitud con respecto a las otras micro cuencas. La mínima aportación de coliformes fecales en la zona urbana, se presenta en el mes de Abril (plenitud de la temporada de estiaje), en donde todas las micro cuencas están en el orden de  $10^5$ .

Gráfica 10. Aporte de organismos coliformes fecales por micro cuenca de acuerdo al rubro de sistemas sépticos.



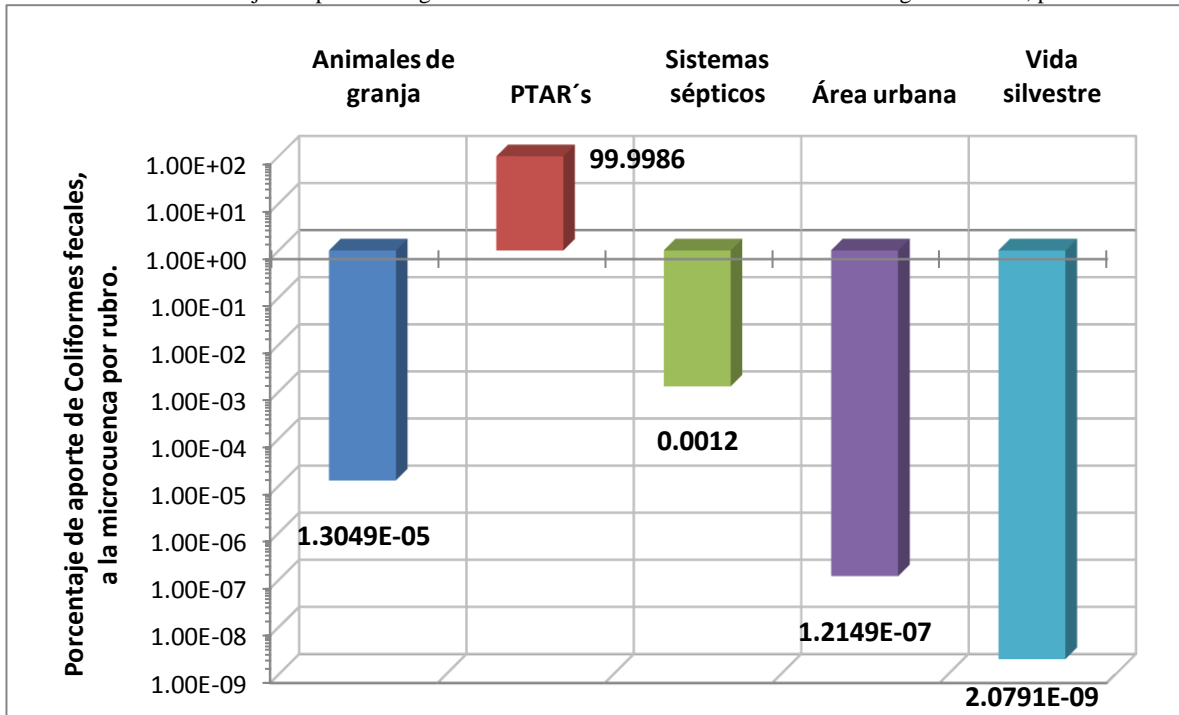
En este gráfico, podemos observar el aporte mensual estimado de los sistemas sépticos por micro cuenca, en donde podemos notar que el máximo aporte de coliformes fecales lo tiene la micro cuenca de El Camarón ( $2.02 \cdot 10^{14}$ ) a lo largo de casi todo el ciclo anual, seguido de Aguas Blancas y Costa Azul respectivamente, siendo el valor más bajo el de la cuenca La Garita con un orden de  $10^{13}$ .

Gráfica 11. Aporte de organismos coliformes fecales por micro cuenca de acuerdo al rubro de animales de granja.



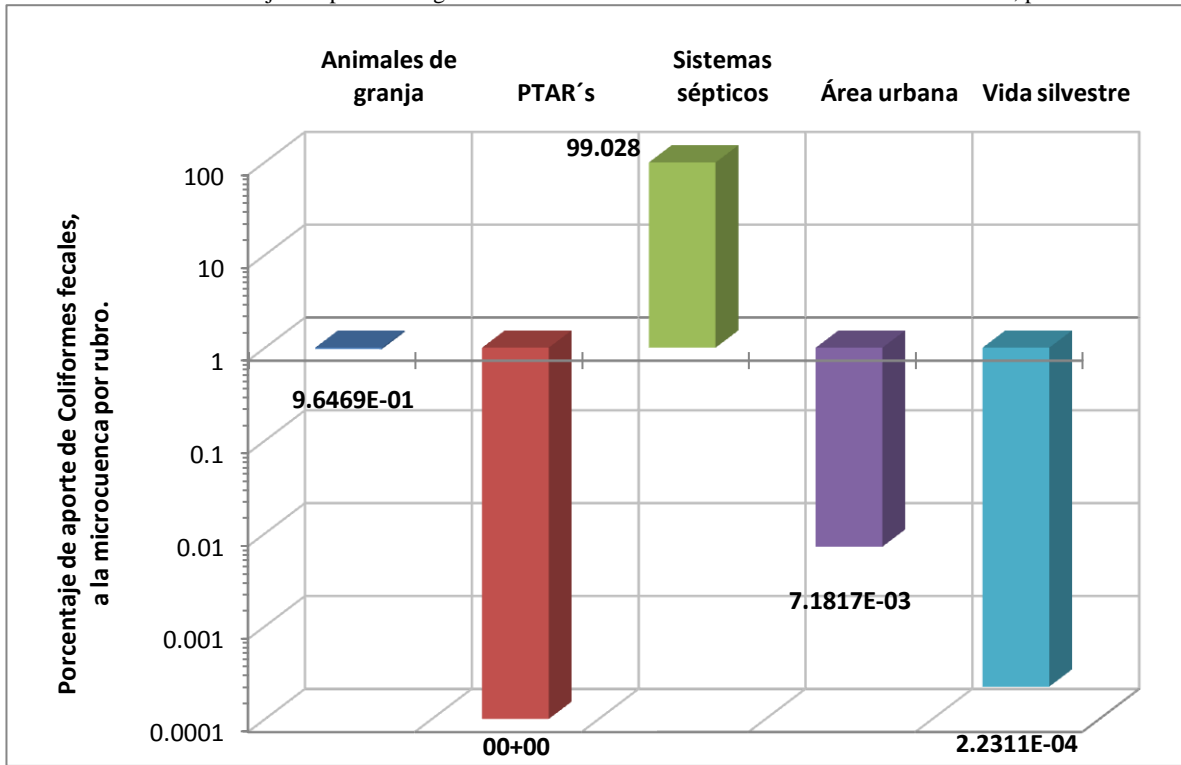
En la gráfica 11, podemos apreciar que el aporte de coliformes fecales provenientes de animales de granja, tiene una periodicidad simple relacionada con las épocas de lluvias y estiaje en la cuenca. Se puede apreciar claramente, el incremento de las concentraciones de estos organismos, debido al inicio de los escurrimientos en la temporada de lluvias durante los meses de Junio a Septiembre, hasta encontrar su punto mínimo en el mes de Febrero. Del total de las 4 micro cuencas, el aporte mínimo por animales de granja lo tienen las micro cuencas de La Garita y Costa Azul, en comparación de la de El Camarón, que durante todo el ciclo anual, es la que mayor aporte de coliformes fecales por animales de granja tiene en toda la cuenca.

Gráfica 12. Porcentaje de aporte de organismos coliformes fecales en la micro cuenca Aguas Blancas, por rubro.



En la micro cuenca Aguas Blancas, se puede apreciar que el porcentaje de aporte de coliformes fecales en su gran mayoría (99.998%) es debido al rubro de sistemas sépticos, ya que los aportes por animales de granja, área urbana y vida silvestre en conjunto solo suman aproximadamente un 0.002% del total de toda la micro cuenca.

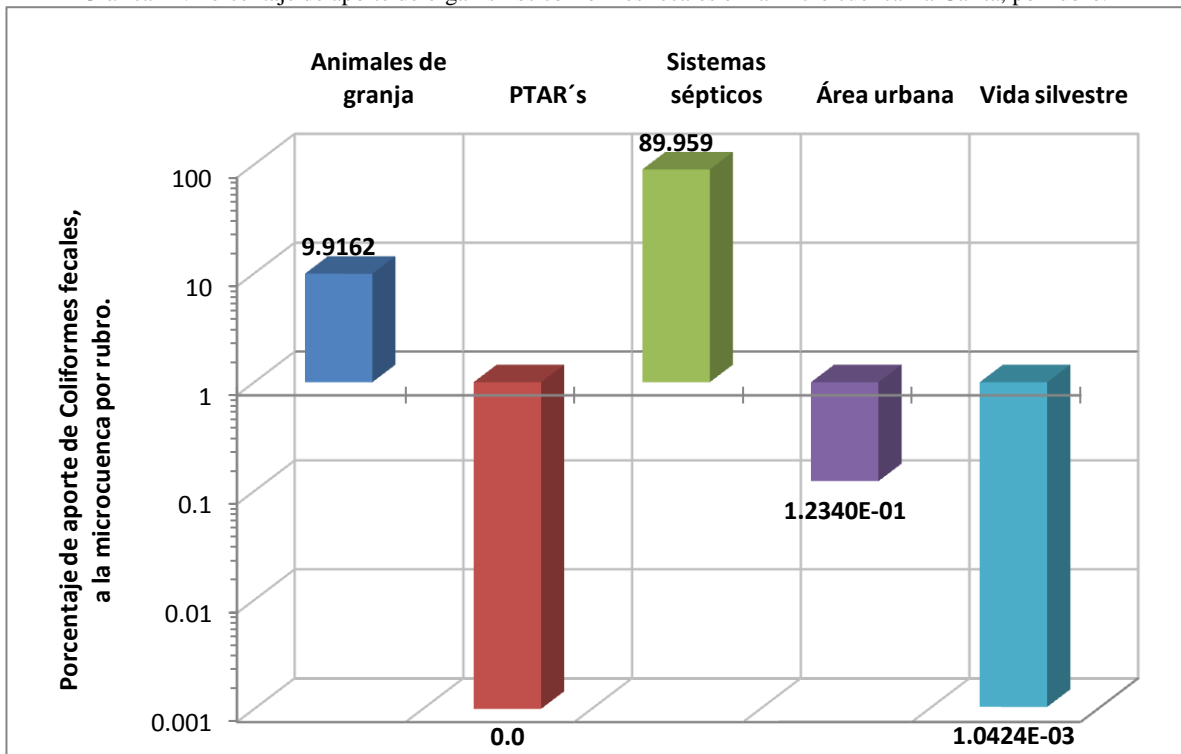
Gráfica 13. Porcentaje de aporte de organismos coliformes fecales en la micro cuenca El Camarón, por rubro.



En la micro cuenca El Camarón, se puede apreciar que el porcentaje de aporte de coliformes fecales en su gran mayoría (99%) es debido al rubro de sistemas sépticos, los aportes por animales de granja son de cerca de 0.965%, mientras que área urbana y vida silvestre en conjunto solo suman aproximadamente un 0.035% del total de toda la micro cuenca.

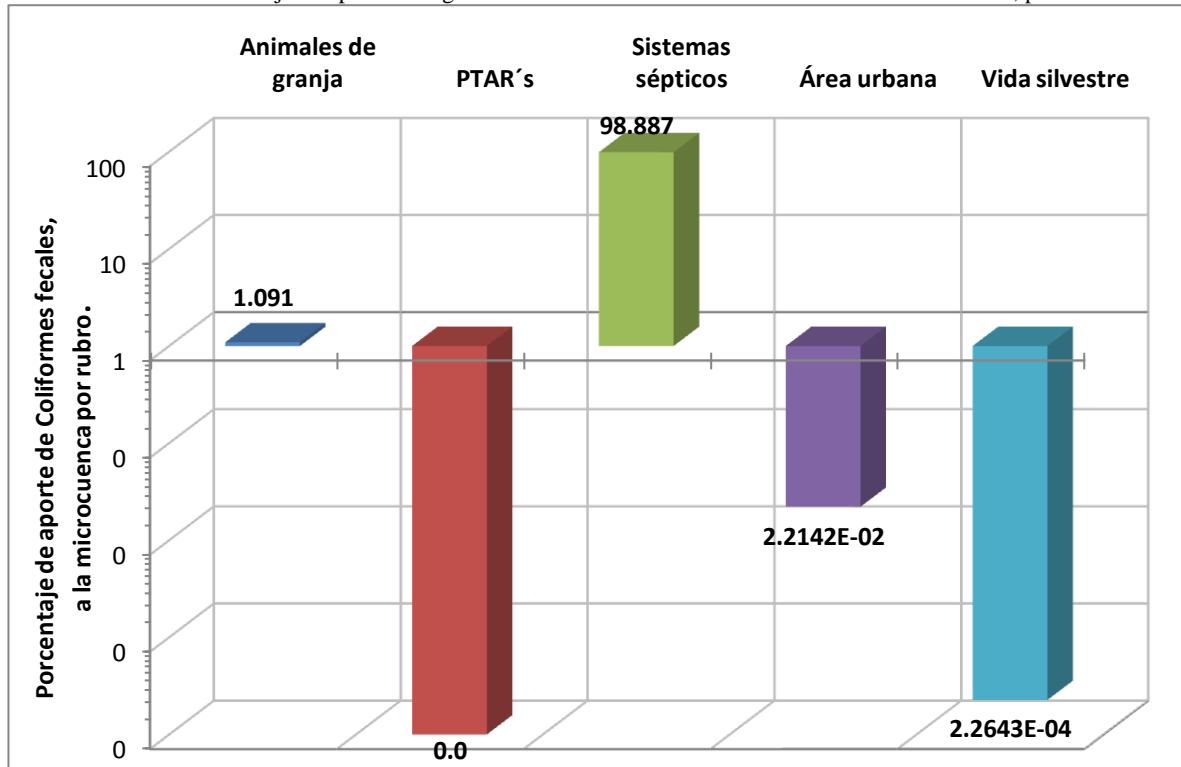


Gráfica 14. Porcentaje de aporte de organismos coliformes fecales en la micro cuenca La Garita, por rubro.



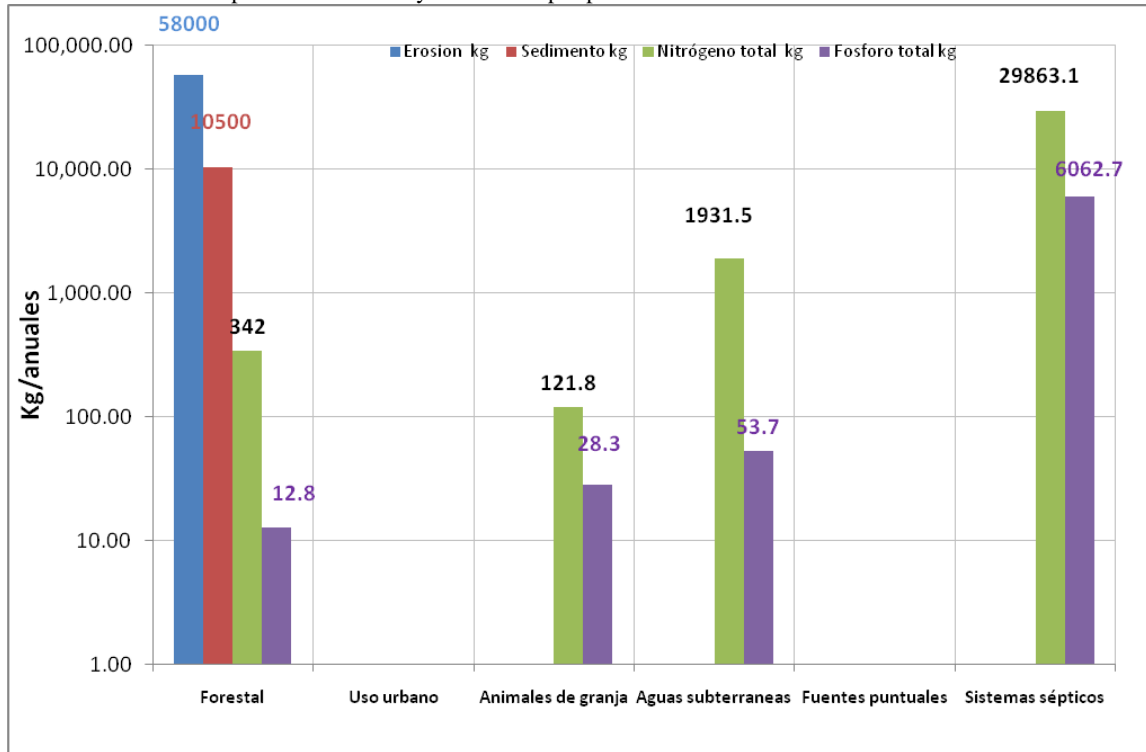
En la micro cuenca La Garita, se puede apreciar que el porcentaje de aporte de coliformes fecales en su gran mayoría (90.0%) es debido al rubro de sistemas sépticos, mientras que el aportes por animales de granja es del 9.92%, a diferencia de los aportes por área urbana y vida silvestre en conjunto solo suman aproximadamente un 0.08% del total de toda la micro cuenca.

Gráfica 15. Porcentaje de aporte de organismos coliformes fecales en la micro cuenca Costa Azul, por rubro



En la micro cuenca Costa Azul, se puede apreciar que el porcentaje de aporte de coliformes fecales en su gran mayoría (98.9%) es debido al rubro de sistemas sépticos, los aportes por animales de granja, área urbana y vida silvestre en conjunto solo suman aproximadamente un 1.1% del total de toda la micro cuenca.

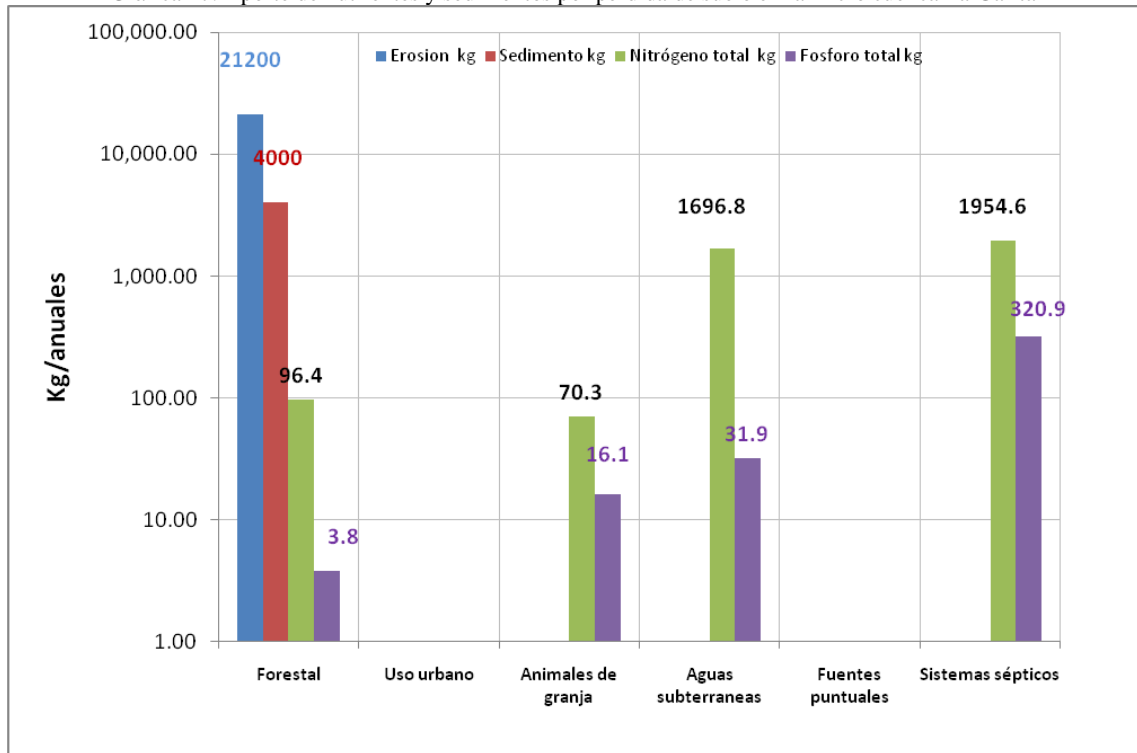
Gráfica 16. Aporte de nutrientes y sedimentos por pérdida de suelo en la micro cuenca El Camarón.



En esta gráfica, se puede observar el aporte de nitrógeno total, fósforo total y los sedimentos por pérdida de suelo en la micro cuenca El Camarón; en donde podemos apreciar, que en cuanto a los nutrientes (nitrógeno y fósforo), son los sistemas sépticos, los que tienen mayor aporte de éstos a toda la micro cuenca, ya que de forma anual, la estimación de nitrógeno, está en el orden de 29.8 toneladas, mientras que el aporte de fósforo es de apenas 6.0 toneladas, seguido del rubro de agua subsuperficial, que aporta 1.9 toneladas de nitrógeno y 0.053 toneladas de fósforo, mientras que el aporte estimado de nitrógeno y fósforo debido a animales de granja en la micro cuenca es de tan solo 0.12 toneladas/año y 0.028 toneladas/año respectivamente. En cambio el rubro forestal es el que mayor aporte de sedimentos por pérdida de suelo, tienen, con 10.5 toneladas/año de sedimento y 58 toneladas/año de pérdida de suelo, además de 0.34 toneladas de nitrógeno y 0.013 toneladas de fósforo.

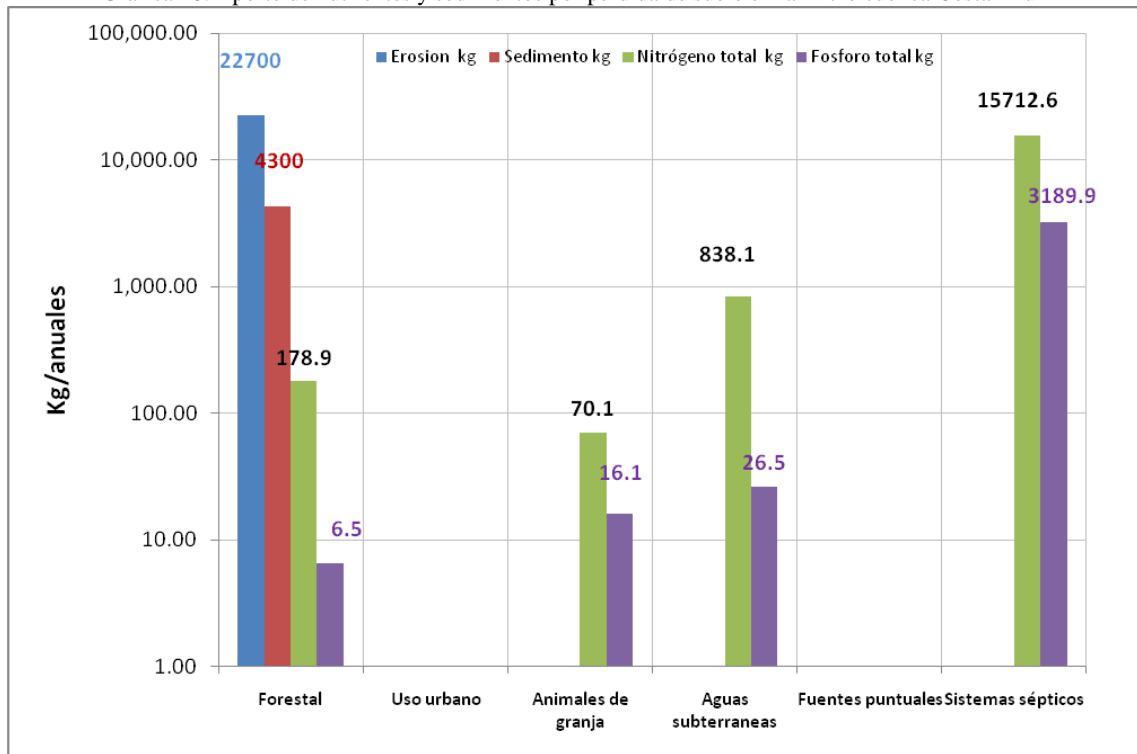
Con base a los resultados de laboratorio del primer y segundo muestreo de calidad del agua en Marzo y Julio de 2008, se obtuvieron los resultados analíticos de algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, mismos que se encuentran en el Anexo 1 y que fueron utilizados para la elaboración de las siguientes figuras en donde se muestra espacialmente la distribución de los mismos en diferentes parámetros de calidad del agua, como son organismos coliformes fecales en bahía, descargas puntuales, playas y arroyos durante los 2 muestreos al inicio de la temporada de lluvias. Así mismo, también en las estaciones de bahía se muestran las figuras de dispersión de nutrientes (nitrógeno total y fósforo total), así como los sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno.

Gráfica 17. Aporte de nutrientes y sedimentos por pérdida de suelo en la micro cuenca La Garita



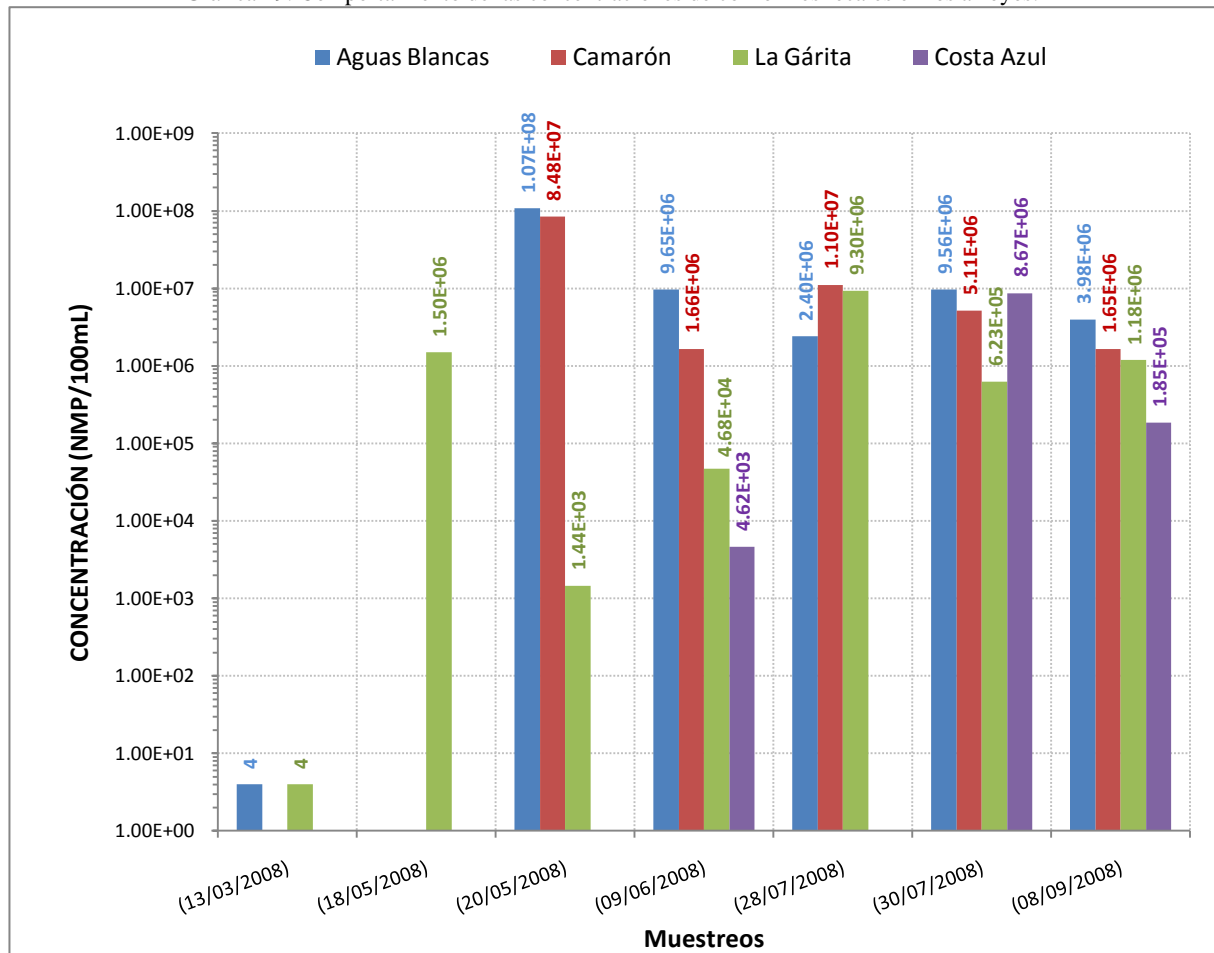
En este gráfico, se puede observar el aporte de nitrógeno total, fósforo total y arrastre de sedimentos por pérdida de suelo en la micro cuenca La Garita, en donde podemos apreciar, que en cuanto a los nutrientes (nitrógeno y fósforo), son los sistemas sépticos, los que tienen mayor aporte de éstos a toda la micro cuenca, ya que de forma anual, la estimación de nitrógeno, está en el orden de 1.9 toneladas, mientras que el aporte de fósforo es de apenas 0.32 toneladas, seguido del rubro de agua subsuperficial, que aporta 1.7 toneladas de nitrógeno y 0.032 toneladas de fósforo; el valor estimado de nitrógeno y fósforo debido a animales de granja en la micro cuenca es de tan solo 0.070 toneladas/año y 0.016 toneladas/año respectivamente. El rubro forestal es el que mayor aporte de sedimentos por pérdida de suelo, tienen, con 4.0 toneladas/año de sedimento y 21.2 toneladas/año de pérdida de suelo.

Gráfica 18. Aporte de nutrientes y sedimentos por pérdida de suelo en la micro cuenca Costa Azul



En este gráfico, se puede observar el aporte de nitrógeno total, fósforo total y los sedimentos por pérdida de suelo en la micro cuenca Costa Azul, en donde podemos apreciar, que en cuanto a los nutrientes (nitrógeno y fósforo), son los sistemas sépticos, los que tienen mayor aporte de estos a toda la micro cuenca, de forma anual, la estimación de nitrógeno, está en el orden de 15.7 toneladas, mientras que el aporte de fósforo es 3.19 toneladas, seguido del rubro de agua subsuperficial, que aporta 0.84 toneladas de nitrógeno y 0.027 toneladas de fósforo; el aporte estimado de nitrógeno y fósforo debido a animales de granja en la micro cuenca es de tan solo 0.07 toneladas/año y 0.0156 toneladas/año respectivamente. En cambio el rubro forestal es el que mayor aporte de sedimentos por pérdida de suelo, tienen, con 4.3 toneladas/año de sedimento y 22.7 toneladas/año de pérdida de suelo.

Gráfica 19. Comportamiento de las concentraciones de coliformes fecales en los arroyos.



Este gráfico representa las concentraciones de organismos coliformes fecales provenientes de los escurrimientos de los arroyos Aguas Blancas, El Camarón, La Garita y Costa Azul, combinando en ellos el aporte de todos los rubros como descargas de aguas residuales, aporte por escurrimientos urbanos, aporte forestal, vida silvestre, etc. Los cuales están representados en 7 eventos de muestreo, tanto en época de estiaje (Marzo y el primer evento en el mes de Mayo) como en lluvias (segundo evento en Mayo, Junio, Julio y Septiembre) y en los cuales podemos ver que de forma permanente solo el arroyo La Garita (La Diana) tuvo escurrimiento durante todo el periodo de monitoreo, mientras que algunos otros solo en temporada de lluvias, como el caso del arroyo Costa Azul, presentó escurrimiento solo después de las primeras lluvias en el mes de Junio. En este gráfico, se puede apreciar, la tendencia del lavado de las cuencas de Aguas Blancas y El Camarón, las cuales, tienen una mayor velocidad de lavado, ya que en los 5 muestreos durante la temporada de lluvias se ve el decaimiento en la concentración de coliformes fecales, a diferencia de las cuencas de La Garita y Costa Azul, que después de las primeras lluvias, la tendencia de la concentración de coliformes fecales es a aumentar, esto debido a que aún se encuentra en proceso de lavado y no es sino hasta el 5° muestreo, es decir, hasta Septiembre, que comienza a decaer la concentración de los mismos.

Para el caso de los resultados de las concentraciones de coliformes fecales que fueron producto de la modelación se presenta la siguiente tabla que resume en ella los aportes mensuales de todos los rubros simulados en forma total mensual.

Tabla 18 Datos de las concentraciones de coliformes fecales modelados en los 4 arroyos.

| Mes        | Aguas Blancas          | El Camarón             | La Garita              | Costa Azul             |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|            | NMP/100mL              | NMP/100mL              | NMP/100mL              | NMP/100mL              |
| Enero      | 1.250*10 <sup>19</sup> | 2.021*10 <sup>14</sup> | 1.703*10 <sup>13</sup> | 1.964*10 <sup>14</sup> |
| Febrero    | 1.020*10 <sup>19</sup> | 2.021*10 <sup>14</sup> | 1.070*10 <sup>13</sup> | 1.063*10 <sup>14</sup> |
| Marzo      | 1.250*10 <sup>19</sup> | 2.021*10 <sup>14</sup> | 1.073*10 <sup>13</sup> | 1.064*10 <sup>14</sup> |
| Abril      | 1.171*10 <sup>19</sup> | 2.022*10 <sup>14</sup> | 1.076*10 <sup>13</sup> | 1.064*10 <sup>14</sup> |
| Mayo       | 1.250*10 <sup>19</sup> | 2.030*10 <sup>14</sup> | 1.125*10 <sup>13</sup> | 1.069*10 <sup>14</sup> |
| Junio      | 1.171*10 <sup>19</sup> | 2.064*10 <sup>14</sup> | 1.332*10 <sup>13</sup> | 1.090*10 <sup>14</sup> |
| Julio      | 1.250*10 <sup>19</sup> | 2.061*10 <sup>14</sup> | 1.310*10 <sup>13</sup> | 1.087*10 <sup>14</sup> |
| Agosto     | 1.250*10 <sup>19</sup> | 2.064*10 <sup>14</sup> | 1.330*10 <sup>13</sup> | 1.090*10 <sup>14</sup> |
| Septiembre | 1.171*10 <sup>19</sup> | 2.087*10 <sup>14</sup> | 1.465*10 <sup>13</sup> | 1.230*10 <sup>14</sup> |
| Octubre    | 1.250*10 <sup>19</sup> | 2.047*10 <sup>14</sup> | 1.224*10 <sup>13</sup> | 1.079*10 <sup>14</sup> |
| Noviembre  | 1.171*10 <sup>19</sup> | 2.024*10 <sup>14</sup> | 1.088*10 <sup>13</sup> | 1.065*10 <sup>14</sup> |
| Diciembre  | 1.250*10 <sup>19</sup> | 2.022*10 <sup>14</sup> | 1.076*10 <sup>13</sup> | 1.064*10 <sup>14</sup> |

Ahora bien, comparando estas concentraciones modeladas las cuales son producto de todos los rubros simulados, es decir, las descargas de aguas residuales, aportes urbanos, forestal, vida silvestre, etc. Con respecto a las concentraciones reales encontradas en los meses que se pudo efectuar muestreo de calidad microbiológica del agua de estos arroyos, podemos ver que aun en el mes de Mayo, durante la primera lluvia, cuando el arrastre de material orgánico es más denso debido a la precipitación sobre el material orgánico depositado en el suelo; estos valores el menos en los arroyos de Aguas Blancas y El Camarón, casi alcanzan concentraciones del orden de 1.00\*10<sup>8</sup>, mientras que el arroyo La Garita, alcanzo concentraciones del orden de 1.00\*10<sup>3</sup>, de acuerdo a los datos modelados existe una diferencia de caso 10 órdenes de magnitud para el caso del arroyo Aguas Blancas, la cual es la que tiene la mayor concentración de todas debido principalmente a la presencia de las descargas de aguas residuales municipales en esta cuenca, en cambio para el caso del arroyo El Camarón existe una diferencia de 6 órdenes de magnitud, mientras que para el arroyo La Garita, existe una diferencia de casi 10 órdenes de magnitud. Mientras que en el arroyo Costa Azul, la diferencia de las concentraciones reales pico con respecto a las concentraciones modeladas es de casi 11 órdenes de magnitud. Este comportamiento se mantiene a lo largo de los meses de muestreo en comparación a los datos modelados, durante todo el periodo anual.

## 7.8 Análisis del Estado Tráfico del sistema de la bahía de Acapulco Guerrero – Modelos LOICZ - ASSETS.

### 7.8.1 Escenario 1. Condiciones Bajas.

El modelo Budget del LOICZ (Land Ocean Interactions in the Coastal Zone) ([http://nest.su.se/mnode/Toolbox/LOICZ\\_Toolbox.htm](http://nest.su.se/mnode/Toolbox/LOICZ_Toolbox.htm)) es una herramienta que permite determinar el balance de masa de agua, salinidad, sedimentos, nitrógeno y fósforo dentro de un sistema como una bahía y está disponible, como aplicación libre en algunos sitios electrónicos de internet, tales como [http://www.ecology.unibo.it/LOICZ-Calculator/loicz\\_calculator.htm](http://www.ecology.unibo.it/LOICZ-Calculator/loicz_calculator.htm). Este modelo, ha adquirido importancia a nivel mundial, debido a que a través de este modelo, pueden estimarse los balances de nutrientes en zonas costeras sujetas a descargas antropogénicas, lo que ha permitido formar una base de datos con casos en todo el mundo.

Dicho modelo se basa en la ecuación general de balance de masa, el cual está representado en la siguiente ecuación.

$$\frac{dM}{dt} = \sum Entradas - \sum Salidas + \sum [fuentes - sumideros]$$

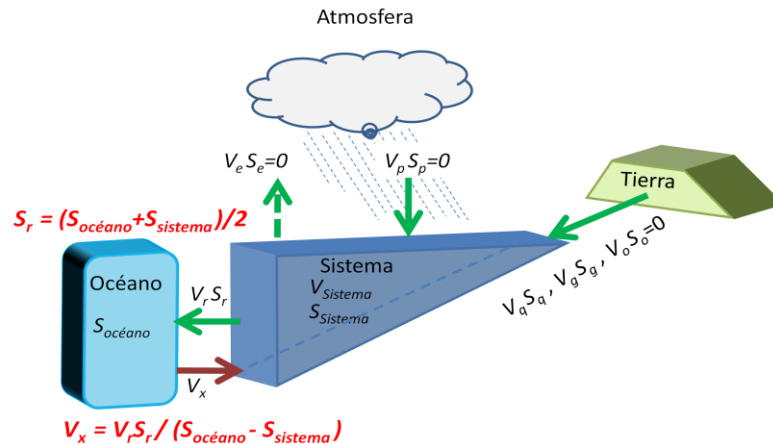
En esta ecuación se asume que no se tienen entradas o salidas internas al sistema, de modo que se puede simplificar la ecuación anterior. Una segunda simplificación, es considerar que la masa del sistema se mantiene constante a través del tiempo, es decir  $dM/dt=0$ .

Pero, en el caso de un sistema costero, el flujo de entrada por ríos, escurrimientos y la precipitación directa, son probablemente las mayores entradas de agua dulce al sistema. El agua subterránea y otras fuentes de agua dulce como descargas, son en algunos casos de menor magnitud, pero son incluidos. La evaporación puede ser un valor de salida significativa y por tal razón toma el valor negativo. Existe un factor adicional dominante de flujo de agua que es la entrada o salida del sistema por la parte oceánica. Este término es descrito como intercambio de flujo o flujo residual y se incluye a la ecuación anterior.

Esta ecuación describe el balance de agua para el sistema de interés, de igual forma se puede describir el balance de masa para la salinidad. Para el balance de la salinidad, se le asigna un valor promedio a cada una de las entradas y salidas. Las entradas y salidas se convierten en los volúmenes de flujo ( $V$  de la ecuación anterior), multiplicadas por las correspondientes salinidades (designadas como  $S$ ). En algunos casos los valores de salinidad para  $S_q$ ,  $S_p$ ,  $S_e$ ,  $S_g$  y  $S_o$  son pequeños y se asumen como cero.



Figura 16. Representación esquemática del Modelo ASSETS.



En la figura anterior, se muestra la derivación de  $V_x$  (flecha roja) de los flujos conocidos y salinidad (flechas verdes).  $V_x$  es una estimación del intercambio de agua por lo que  $V_x$  es importante para el cálculo de los balances de los nutrientes. Es importante estimar el tiempo de residencia del agua del sistema, definido como el tiempo en el cual el agua permanece en el sistema. Tanto el flujo residual y de intercambio, sirven para contabilizar el tiempo de residencia del agua, de tal manera que el volumen del sistema ( $V_{\text{sist}}$ ) dividido por la suma de  $V_x$  más el valor absoluto de  $V_r$ , es una estimación del tiempo de residencia del agua.

Se efectuó un primer escenario en ambos modelos (LOICZ y ASSETS) en donde las condiciones actuales del sistema son bajas en cuanto a las cargas de nutrientes y eliminando las descargas de aguas residuales hacia la bahía, manteniendo los parámetros básicos de calibración de los modelos y modificando únicamente las concentraciones de salinidad, nitrógeno y fósforo de los escurrimientos, por unos más bajas, como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19 Datos de entrada para el modelo LOICZ, 1er escenario, condiciones bajas.


|  |  |
|--|--|
| Datos de referencia geográficos de la zona | 16.931383°; 16.781389°;<br>-99.92°; -99.795556 |
| Área del sistema de estudio (bahía):       | 19.9km <sup>2</sup>                            |
| Profundidad media del sistema:             | 20.06m   |
| Volumen del sistema                        | 518594*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>          |
| Salinidad del sistema:                     | 32.82 ppt                                      |
| Conc. media de fósforo en el sistema:      | 0.056mg/L                                      |
| Conc. media de nitrógeno en el sistema:    | 1.2mg/L  |
| Salinidad del océano:                      | 33.05 ppt                                      |
| Conc. media de fósforo en el océano:       | 0.026mg/L                                      |
| Conc. media de nitrógeno en el océano:     | 1.2mg/L  |
| Precipitación en el sistema:               | 1243.8mm/año                                   |
| Flujo de prec. en el sistema:              | 67.8*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /día       |
| Salinidad de la precipitación:             | 0.1 ppt  |
| Conc. media de fósforo en precipitación:   | 0.01mg/L                                       |
| Conc. media de nitrógeno en precipitación: | 0.04mg/L                                       |
| Evaporación en el sistema:                 | 576.3mm/año                                    |
| Flujo de evaporación en el sistema:        | 31.4*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /día       |
| Flujo subsuperficial:                      | 37.45*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /día      |
| Salinidad del agua subsuperficial:         | 0.1 ppt  |
| Conc. media de fósforo subsuperficial:     | 0.01mg/L                                       |

|   |   |
|---|---|
| Conc. media de nitrógeno subsuperficial:        | 2.78mg/L                                  |
| Flujo Escurrimientos (arroyos):                 | 64.74*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /día |
| Salinidad de los escurrimientos:                | 0.12 ppt                                  |
| Conc. media de fósforo de los escurrimientos:   | 0.4mg/L                                   |
| Conc. media de nitrógeno de los escurrimientos: | 2.6mg/L                                   |

En dicho escenario, se hace la consideración de una concentración promedio de 0.5mg/L y 2.6mg/L de fósforo y nitrógeno respectivamente, así como una salinidad de 0.12ppt, referidos a un escurrimiento de un río en una zona de estudio, el cual no recibe influencia de descargas de origen residual.

Para ingresar la información al modelo LOICZ, se ingresa al sitio web antes mencionado ([http://www.ecology.unibo.it/LOICZ-Calculator/loicz\\_calculator.htm](http://www.ecology.unibo.it/LOICZ-Calculator/loicz_calculator.htm)). En primer lugar se requiere establecer la región geográfica en la cual está comprendida el área de estudio y es necesario para alimentar la base de datos del mismo programa, a fin de establecer la entrada de la corrida en el sistema, para la actualización global del sistema de información, ver la figura 17.


Figura 17. Datos de entrada para el modelo LOICZ, 1er escenario condiciones bajas.



## Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone

### LOICZ - Calculator

by [M. Ponti](#) and [G. Giordani](#)



Simple Biogeochemical Budgets Calculator for one box - one layer model following the guidelines provided by [Gordon et al. \(1996\)](#). For further information visit the [LOICZ web site](#).  
(You must have JavaScript enabled in your browser to work with this calculator)

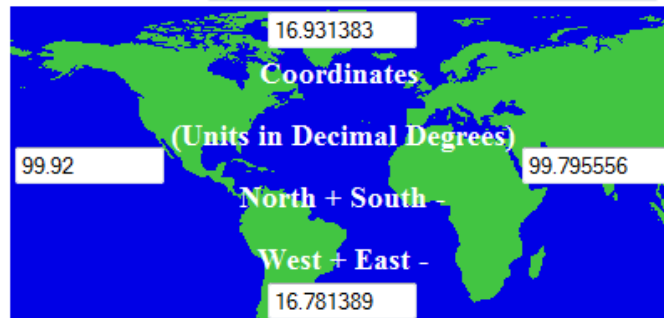
**Provide the requested information (\* necessary fields):**

Area name  Country

Author's name(s)

Affiliation

E-mail



Posteriormente, es necesario alimentar el programa LOICZ, con los datos de área del sistema (bahía), y la profundidad media para calcular el volumen promedio de la bahía. Se requiere ingresar los datos de salinidad, concentración de fósforo y nitrógeno de la bahía y de un punto de referencia en el océano abierto. También es necesario establecer los datos de precipitación, evaporación, flujo de aguas subterráneas, el escurrimiento de los arroyos y la infiltración de aguas residuales en el sistema por pérdida en el alcantarillado, así como la salinidad y las concentraciones de fósforo y nitrógeno de cada uno de estos flujos. Manteniendo la relación de Redfield para nutrientes en 106:16:1 (C:N:P).

Figura 18. Datos de entrada para el modelo LOICZ, balance de flujos, 1er escenario condiciones bajas.

|  | Area  | Volume                            | Salinity                | [DIP]                   | [DIN]                   |
|--|---|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|  | km <sup>2</sup>                                   | (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) | (psu)                   | (mmol m <sup>-3</sup> ) | (mmol m <sup>-3</sup> ) |
| <b>System</b>                                | * 19.9  | * 518594                          | * 32.82                 | * 0.056                 | * 1.2                   |
| <b>Sea</b>                                   | -   | -                                 | * 33.05                 | * 0.026                 | * 1.2                   |
| <b>Inputs/outputs</b>                        |   |                                   |                         |                         |                         |
| (negative flows are outputs from the system) |   |                                   |                         |                         |                         |
|  | Flow  | Salinity                          | [DIP]                   | [DIN]                   |                         |
|  | (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) | (psu)                             | (mmol m <sup>-3</sup> ) | (mmol m <sup>-3</sup> ) |                         |
| <b>Precipitation</b>                         | 1243.8 mm period <sup>-1</sup>                    | * 67.813                          | * 0.1                   | * 0.01                  | * 0.04                  |
| <b>Evaporation</b>                           | 576.3 mm period <sup>-1</sup>                     | * -31.42                          |                         |                         |                         |
| <b>Ground water</b>                          |   | * 37.45                           | * 0.1                   | * 0.01                  | * 2.78                  |
| Others                                       | Typology  | Flow                              | Salinity                | DIP                     | DIN                     |
| # 1 Arroyos                                  | runoff  | 64.74                             | 0.12                    | 0.5                     | 2.6                     |
| # 2 AgsRs                                    | civil sewage                                      | 0                                 | 0                       | 0                       | 0                       |
| # 3  | runoff  | 0                                 | 0                       | 0                       | 0                       |

For the stoichiometric calculations define the C:N:P ratio for primary producers

C 106 : N 16 : P 1

Redfield ratio for phytoplankton is 106:16:1  
Atkinson & Smith ratio for macroalgae is 335:35:1

[Calculate] [Reset]

De la modelación con estos, se puede observar (figura 19) que existe un flujo residual hacia el océano de aproximadamente  $138.6 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ , teniendo una salinidad estimada en la zona de mezcla de 32.94ppt, manteniendo un flujo entre el océano y el sistema (bahía) de  $19770.4 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ , con un tiempo, además de tener un tiempo de recambio o permanencia de 20 días. De acuerdo al balance global de nutrientes, se observa que al sistema se incorporarían aproximadamente 1406kg/anales de nitrógeno y 373kg/anales de fósforo. De acuerdo con esto, habría una exportación de fósforo en una cantidad de 6399kg/anales desde el sistema de bahía hacia el océano, mientras que 557kg/anales de nitrógeno serían depositados en el sistema, sirviendo éste como sumidero de nitrógeno, manteniendo el mismo comportamiento que en el escenario de condiciones medias y medias críticas.

Figura 19. Datos de entrada para el modelo LOICZ, balance de salinidad y nutrientes, 1er escenario condiciones bajas.

**Results**

**Water and Salt Budget**

|  |         |                                   |
|--|---------|-----------------------------------|
| Residual flow to the sea ( $V_R$ )             | -138.6  | $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ |
| Average salinity at the boundary ( $S_R$ )     | 32.94   | psu                               |
| Exchange flow between system and sea ( $V_X$ ) | 19770.4 | $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ |
| Turnover time (t)                              | 26      | d                                 |

**Nutrients Budget**

|  | DIP        | DIN         |                               |
|--|------------|-------------|-------------------------------|
| Average concentrations at the boundary ( $Y_R$ ) | 0.04       | 1.2         | $\text{mmol m}^{-3}$          |
| Daily load from precipitation ( $VDIY_p$ )       | 1          | 3           | $\text{mol d}^{-1}$           |
| Daily load from ground water ( $VDIY_g$ )        | 0          | 104         | $\text{mol d}^{-1}$           |
| Daily load from <b>Arroyos</b>                   | 32         | 168         | $\text{mol d}^{-1}$           |
| Daily load from                                  | 0          | 0           | $\text{mol d}^{-1}$           |
| <b>Total load during study period</b>            | <b>373</b> | <b>1406</b> | <b>kg period<sup>-1</sup></b> |

|  | DIP    | DIN  |                                     | DIP   | DIN  |                         |
|--|--------|------|-------------------------------------|-------|------|-------------------------|
| Residual exchange between system and sea ( $V_{RDIY_R}$ )    | -6     | -166 | $\text{mol d}^{-1}$                 | -68   | -849 | $\text{kg period}^{-1}$ |
| Exchange between system and sea ( $V_{XDIY_X}$ )             | -593   | 0    | $\text{mol d}^{-1}$                 | -6704 | 0    | $\text{kg period}^{-1}$ |
| Total sea-lagoon fluxes (negative = export)                  | -599   | -166 | $\text{mol d}^{-1}$                 | -6772 | -849 | $\text{kg period}^{-1}$ |
| Difference: sources - sinks (DDIY)                           | 566    | -109 | $\text{mol d}^{-1}$                 | 6399  | -557 | $\text{kg period}^{-1}$ |
| Daily difference: sources - sinks (DDIY) per $\text{m}^{-2}$ | 0.03   | 0    | $\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ |       |      |                         |
| The system act as:   | source | sink |                                     |       |      |                         |

**Stoichiometric calculations**

|   |              |                                     |
|---|--------------|-------------------------------------|
| Net Ecosystem Metabolism: p - r (NEM)   | -3.2         | $\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ |
| Based on the NEM, the system globally is  | eterotrophic |                                     |
| Expected DDIN   | 0.48         | $\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ |
| Difference between atmospheric nitrogen fixation and denitrification processes (Nfix-denit) | -0.48        | $\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ |

El programa ASSETS (*Assessment of Estuarine Trophic Status*), es una herramienta desarrollada por la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration - US*) y el IMAR (*Institute of Marine Research- US*) que tiene como finalidad estimar el estado trófico de estuarios y zonas costeras, para hacer frente a opciones de gestión en esas zonas. Este modelo incluye componentes cuantitativos y semicuantitativos y utiliza datos de campo e indicadores de presión estado y respuesta.

La metodología empleada por este modelo, se basa principalmente en tres instrumentos de diagnóstico, un índice heurístico de presión (influencia antropogénica), una evaluación de síntomas generales del sistema y un indicador de la administración de la respuesta (perspectiva futura a mediano plazo).

El enriquecimiento con nutrientes de las zonas costeras, puede tener consecuencias de gran alcance, tales como muerte masiva de peces, la disminución de acuicultura para cría de moluscos, la pérdida o degradación de praderas de pastos marinos y la afectación a otro tipo de organismos. Estas modificaciones tienen importantes costos económicos y sociales, algunos de los cuales pueden ser fácilmente identificados (costos directos como la pérdida de productividad), mientras que otros son más difíciles de determinar y tienen a ser ignorados.

La eutrofización de los estuarios y las zonas costeras históricamente ha sido evaluada utilizando mediciones de variables tales como transparencia, nutrientes y clorofila a. Sin embargo, en las últimas décadas se ha reconocido que la eutrofización de estuarios y zonas costeras es potencialmente un problema mucho más sutil, que puede manifestarse por ejemplo a través de la aparición de florecimientos de especies de algas indeseables y/o nocivas, o debido a cambios en la composición de las comunidades que habitan en el sistema marino. Los nutrientes son la causa principal, pero además de eso, existen muchos otros factores que afectan y determinan el nivel máximo y el tipo de expresión de los síntomas eutróficos, incluyendo el recambio de las mareas, la entrada de agua dulce, etc.

Por otra parte, la necesidad de evaluar el grado de eutrofización de un sistema costero, ha llevado al desarrollo de diferentes métodos basados en la interpretación multiparamétrica, así como las apreciaciones sintomatológicas del sistema en sí, un ejemplo de estos es el NEEA (*National Estuarine Eutrophication Assessment- US*) el cual utiliza una combinación de los síntomas primarios y secundarios para obtener así, un índice que es asociado con una medida de la influencia humana global y la definición de perspectivas futuras. Este enfoque contiene los componentes de presión ESTADO - RESPUESTA del modelo ASSETS.

El modelo ASSETS, pretende ser un modelo para la evaluación general de enriquecimiento orgánico, tanto dentro, como entre sistemas; contiene algunos de los elementos del estado y la estructura biológica como posibles indicadores de la salud de un ecosistema.<sup>59</sup>

Mediante este modelo, se pueden efectuar algunos escenarios posibles para determinar el estado trófico del sistema. Para ello, es necesario contar con alguna información antecedente como cargas de nitrógeno en ríos, nitrógeno en el sistema, volúmenes de descarga de los arroyos al sistema, y concentración de Clorofila a, presencia /ausencia de algas y vegetación acuática sumergida, oxígeno disuelto en el sistema, además de ponderaciones de presión de sistemas agrícolas, urbanos y de tratamiento de aguas residuales en la zona de estudio. Para este caso de estudio se muestran los datos para la calibración en la tabla 20.

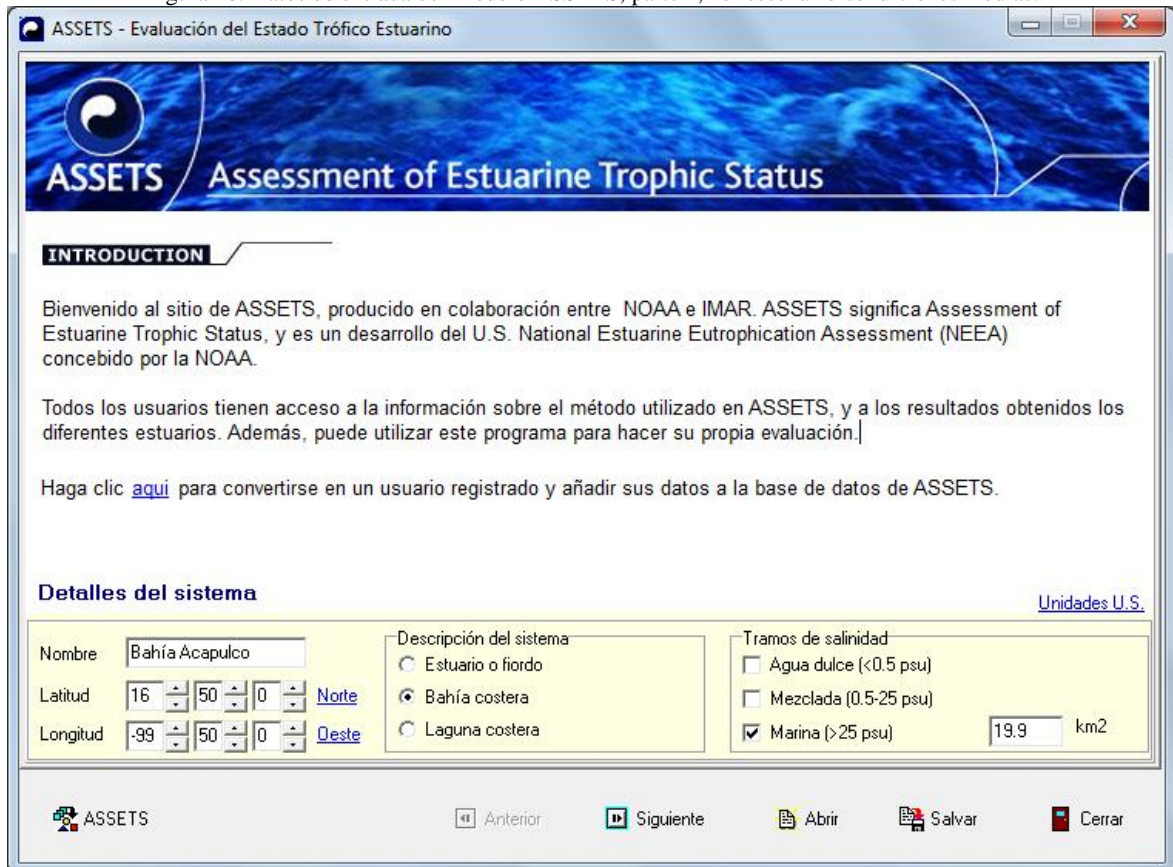
Tabla 20 Datos de entrada para el modelo ASSETS, 1er escenario, condiciones bajas.

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| Prisma de marea medio:                          | $27 \cdot 10^3 \text{ m}^3$    |
| Mareas por día:                                 | 2                              |
| Fracción del agua de refluo no substituida:     | 0.5                            |
| Conc. media de nitrógeno en el río:             | 2.6mg/L                        |
| Conc. media de nitrógeno en el sistema (bahía): | 1.2mg/L                        |
| Carga de nitrógeno en efluentes:                | 12.29 ton/año                  |
| Volumen de la bahía:                            | $518.7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ |
| Caudal del o los ríos:                          | 150 L/s                        |
| Carrera de marea:                               | 3                              |
| Oxígeno disuelto promedio en el sistema:        | 8 mg/L                         |

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| Conc. promedio Clorofila a                  | 5µg/L                          |
| Presencia de algas y vegetación sumergida:  | Sin problemas observados       |
| Ponderación Presión Agricultura/población:  | 10% agricultura; 90% población |
| Ponderación Presión Urbana:                 | 3, medianamente disminuido     |
| Ponderación Presión Trat. Aguas Residuales: | 3, medianamente disminuido     |
| Área del sistema (bahía):                   | 19.9 km <sup>2</sup>           |

Como primera parte del sistema, es necesario establecer el nombre del proyecto, la localización geográfica y la descripción del sistema (estuario, bahía costera o laguna costera), de igual forma establecer una superficie aproximada, expresada en km<sup>2</sup>. Figura 20.

Figura 20. Datos de entrada del Modelo ASSETS, parte 1, 1er escenario condiciones medias.



**ASSETS - Evaluación del Estado Trófico Estuarino**

**ASSETS Assessment of Estuarine Trophic Status**

**INTRODUCTION**

Bienvenido al sitio de ASSETS, producido en colaboración entre NOAA e IMAR. ASSETS significa Assessment of Estuarine Trophic Status, y es un desarrollo del U.S. National Estuarine Eutrophication Assessment (NEEA) concebido por la NOAA.

Todos los usuarios tienen acceso a la información sobre el método utilizado en ASSETS, y a los resultados obtenidos los diferentes estuarios. Además, puede utilizar este programa para hacer su propia evaluación.

Haga clic [aquí](#) para convertirse en un usuario registrado y añadir sus datos a la base de datos de ASSETS.

**Detalles del sistema** [Unidades U.S.](#)

Nombre: Bahía Acapulco

Latitud: 16 50 0 Norte

Longitud: -99 50 0 Oeste

Descripción del sistema:

- Estuario o fiordo
- Bahía costera
- Laguna costera

Tramos de salinidad:

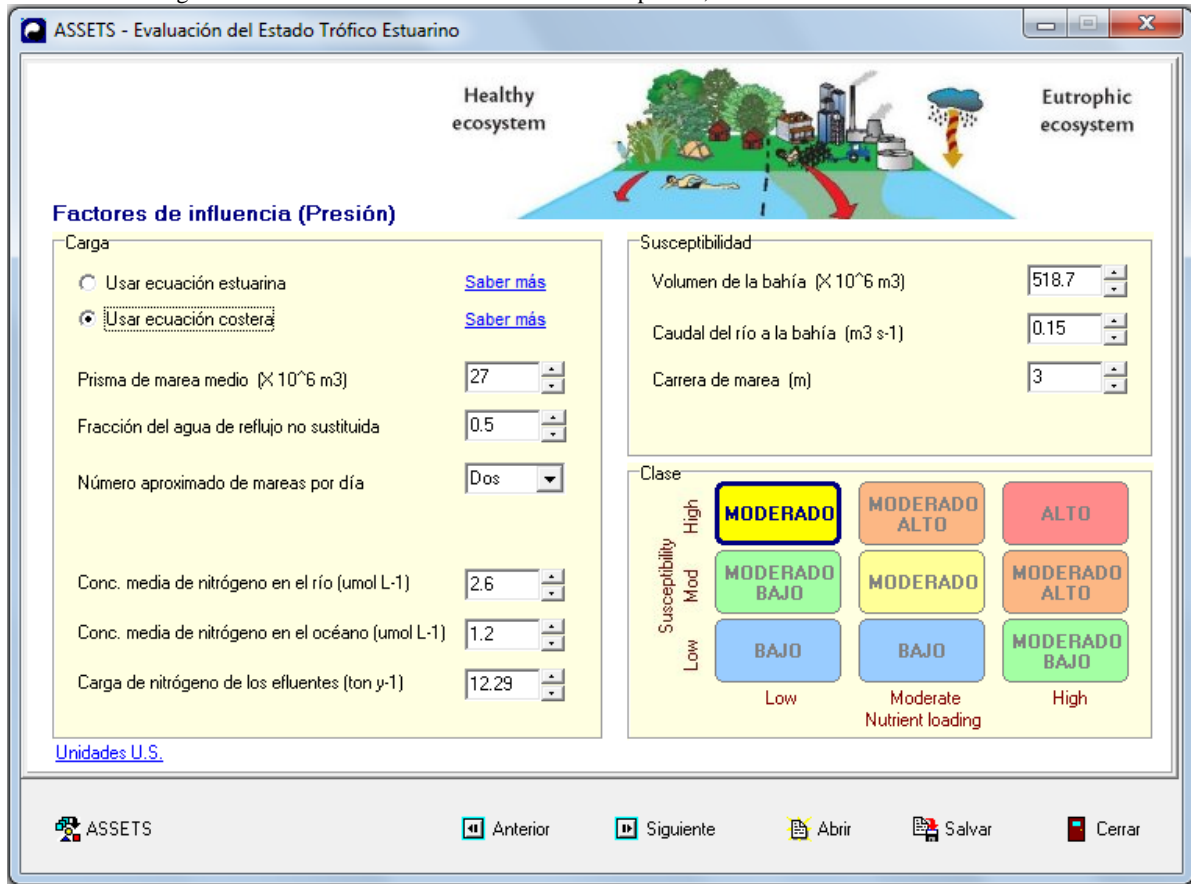
- Agua dulce (<0.5 psu)
- Mezclada (0.5-25 psu)
- Marina (>25 psu)

19.9 km<sup>2</sup>

ASSETS    Anterior    Siguiente    Abrir    Guardar    Cerrar

En este escenario, se tomó como valor medio de nitrógeno en el río, una concentración promedio de 2.6mg/L, que corresponde al escurrimiento de un río localizado en una zona similar a la del área de estudio y el cual, no presenta descargas de origen residual en el cauce y es en base a esta concentración a la que se calculó una carga de 12.29ton/año manteniendo un flujo de 150L/s. además de esto, en este escenario, se consideró una disminución del valor de concentración de *clorofila a*, manteniendo ésta en 5µg/L, sin problemas observados de presencia de florecimientos algales de especies nocivas y disminuyendo los factores de presión urbana y por tratamiento de aguas residuales (favoreciendo las condiciones actuales de estas mismas).

Figura 21. Datos de entrada del Modelo ASSETS parte 2, 1er escenario condiciones medias.

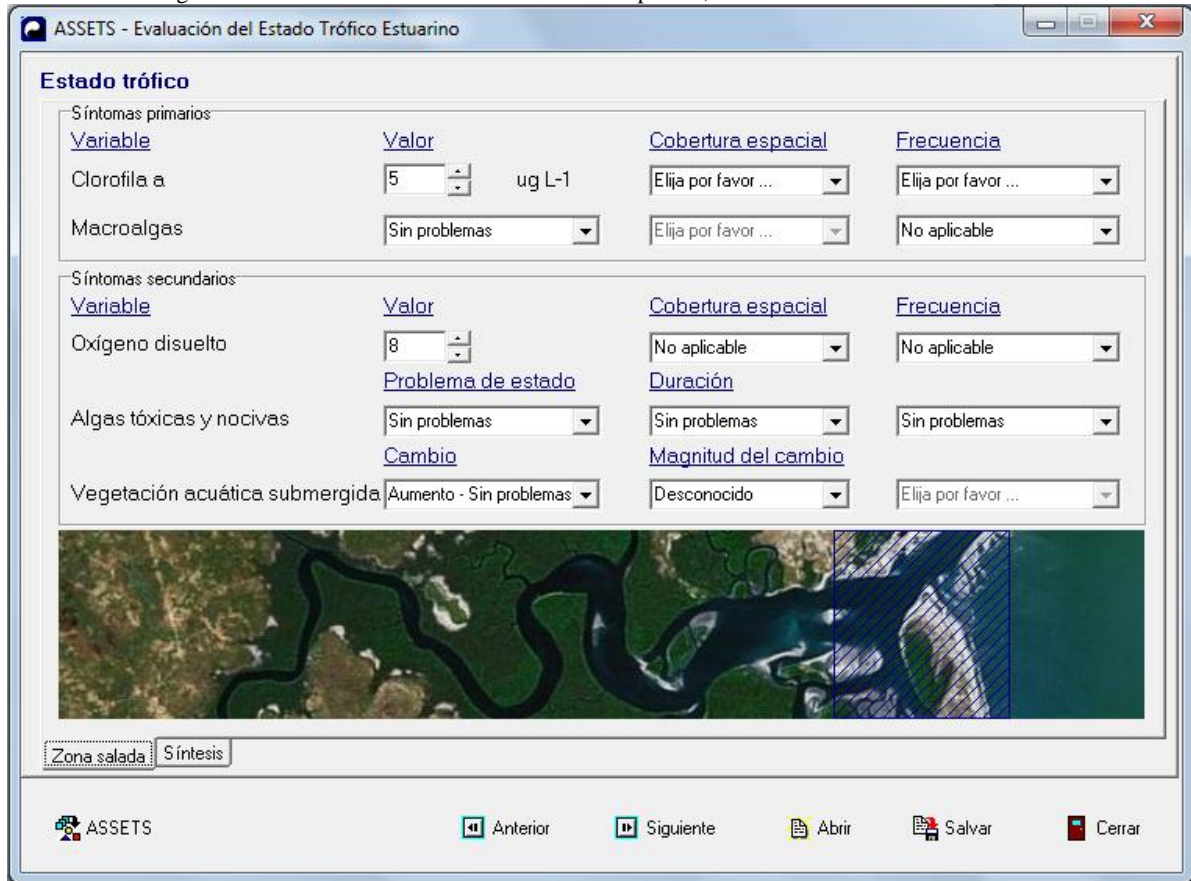


The screenshot shows the ASSETS software interface for estuarine state evaluation. It features a central diagram of an estuary with a 'Healthy ecosystem' on the left and an 'Eutrophic ecosystem' on the right. The interface is divided into several sections:

- Factores de influencia (Presión):**
  - Carga:**
    - Usar ecuación estuarina:  [Saber más](#)
    - Usar ecuación costera:  [Saber más](#)
    - Prisma de marea medio ( $\times 10^6$  m<sup>3</sup>): 27
    - Fracción del agua de reflujó no sustituida: 0.5
    - Número aproximado de mareas por día: Dos
    - Conc. media de nitrógeno en el río ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ): 2.6
    - Conc. media de nitrógeno en el océano ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ): 1.2
    - Carga de nitrógeno de los efluentes (ton y<sup>-1</sup>): 12.29
  - Susceptibilidad:**
    - Volumen de la bahía ( $\times 10^6$  m<sup>3</sup>): 518.7
    - Caudal del río a la bahía (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>): 0.15
    - Carrera de marea (m): 3
  - Clase:** A 3x3 matrix of susceptibility classes based on 'Susceptibility' (High, Mod, Low) and 'Nutrient loading' (Low, Moderate, High). The 'Moderado' class (High susceptibility, Low loading) is highlighted in yellow.
- Unidades U.S.** (link)
- Navigation:** ASSETS logo, Anterior, Siguiente, Abrir, Salvar, Cerrar buttons.

Una vez alimentado el modelo, este, nos presenta una susceptibilidad moderada a los procesos de eutrofización, manteniendo un aporte mínimo de nitrógeno debido al o los efluentes que desembocan en el sistema de la bahía, los cuales supondrían una concentración promedio de 2.6mg/L con un caudal promedio de 150L/s. De igual forma, se hace la consideración que los síntomas primarios y secundarios de los procesos de eutrofización disminuyen y se estiman en 5ug/L de clorofila a, además de que se considera que no existe la presencia de florecimientos algales de especies nocivas, así como un moderado aumento en la vegetación sumergida, el cual no supondría un problema para el sistema.

Figura 22. Datos de entrada del Modelo ASSETS parte 3, 1er escenario condiciones medias.



| Síntomas primarios |               |                     |                     |
|--------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| Variable           | Valor         | Cobertura espacial  | Frecuencia          |
| Clorofila a        | 5 ug L-1      | Elija por favor ... | Elija por favor ... |
| Macroalgas         | Sin problemas | Elija por favor ... | No aplicable        |

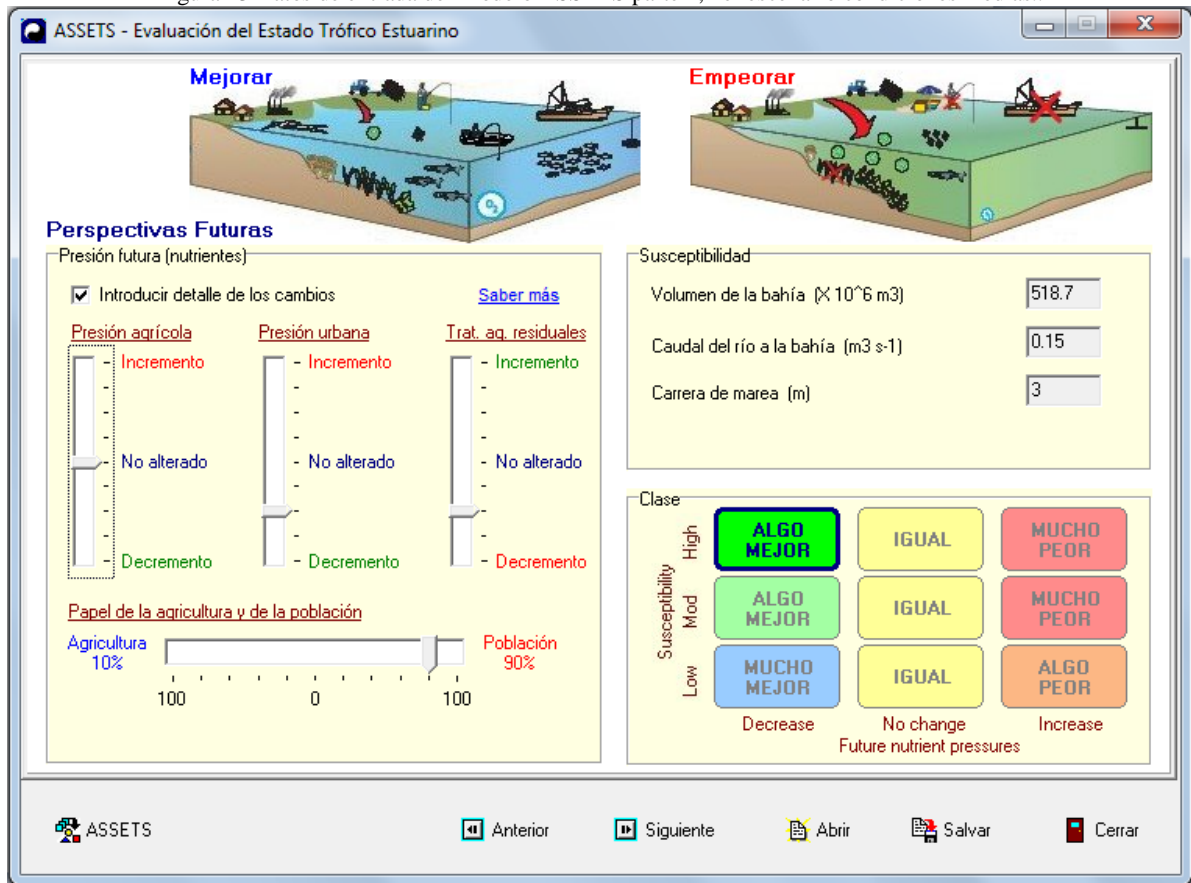
  

| Síntomas secundarios           |                         |                    |                     |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Variable                       | Valor                   | Cobertura espacial | Frecuencia          |
| Oxígeno disuelto               | 8                       | No aplicable       | No aplicable        |
| Algas tóxicas y nocivas        | Sin problemas           | Sin problemas      | Sin problemas       |
| Vegetación acuática submergida | Aumento - Sin problemas | Desconocido        | Elija por favor ... |

Para este escenario, se consideran de igual forma, los factores de presión debido a las actividades urbanas y el tratamiento de aguas residuales ha mejorado en gran medida; lo que supondría un mejoramiento o decremento en estos factores de presión manteniendo la relación 90:10 entre los rubros población – agricultura. El modelo, nos arroja una perspectiva del comportamiento del sistema a futuro, el cual de mantenerse estas tendencias se podría observar una mejora en su estado trófico.



Figura 23 Datos de entrada del Modelo ASSETS parte 4, 1er escenario condiciones medias..



En resumen, este escenario, nos muestra un moderado índice de factores de influencia, en donde domina un bajo potencial de dilución con un moderado potencial de flujo, manteniendo un bajo aporte de nutrientes en el sistema, observando la disminución de síntomas primarios de procesos de eutrofización, tales como la disminución de la concentración de clorofila a, acompañado de la desaparición de síntomas secundarios tales como la aparición de florecimientos algales de especies nocivas. La perspectiva a futuro, tendería a la mejora del sistema, como reflejo de la disminución de factores de presión urbanos y derivados de la disposición de aguas residuales, mismos que evidenciarían una considerable reducción en el aporte de nutrientes en el sistema.

Figura 24. Datos de entrada del Modelo ASSETS parte 5, 1er escenario condiciones medias.



## 7.8.2 Escenario 2. Condiciones medias, medias críticas

Para el caso del segundo escenario de bahía de Acapulco, la información requerida para el modelo, en condiciones medias y medias-críticas, se presenta en la tabla 21, la cual fue obtenida de los datos de campo recabados en los dos muestreos en los meses de Marzo y Julio de 2008 y de los resultados obtenidos del modelo hidrológico AVGWLF.

Tabla 21 Datos de entrada para el modelo LOICZ, 2° escenario, condiciones medias - medias críticas.

|   |  |
|---|--|
| Datos de referencia geográficos. de la zona | 16.931383°; 16.781389°;<br>-99.92°; -99.795556 |
| Área del sistema de estudio (bahía):        | 19.9km <sup>2</sup>                            |
| Profundidad media del sistema:              | 20.06m   |
| Volumen del sistema                         | 518594*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>          |
| Salinidad del sistema:                      | 32.82 ppt                                      |
| Conc. media de fósforo en el sistema:       | 0.056mg/L                                      |
| Conc. media de nitrógeno en el sistema:     | 1.2mg/L  |
| Salinidad del océano:                       | 33.05 ppt                                      |
| Conc. media de fósforo en el océano:        | 0.026mg/L                                      |
| Conc. media de nitrógeno en el océano:      | 1.2mg/L  |
| Precipitación en el sistema:                | 1243.8mm/añual                                 |
| Flujo de prec. en el sistema:               | 67.8*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /día       |
| Salinidad de la precipitación:              | 0.1 ppt  |
| Conc. media de fósforo en precipitación:    | 0.01mg/L                                       |

|  |   |
|--|---|
| Conc. media de nitrógeno en precipitación:           | 0.04mg/L                                  |
| Evaporación en el sistema:                           | 576.3mm/añual                             |
| Flujo de evaporación en el sistema:                  | 31.4*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /día  |
| Flujo subsuperficial:                                | 37.45*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /día |
| Salinidad del agua subsuperficial:                   | 0.1 ppt                                   |
| Conc. media de fósforo subsuperficial:               | 0.01mg/L                                  |
| Conc. media de nitrógeno subsuperficial:             | 2.78mg/L                                  |
| Flujo Escurrimientos (arroyos):                      | 64.74*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /día |
| Salinidad de los escurrimientos:                     | 1.35 ppt                                  |
| Conc. media de fósforo de los escurrimientos:        | 1.12mg/L                                  |
| Conc. media de nitrógeno de los escurrimientos:      | 14.13mg/L                                 |
| Flujo infiltración aguas residuales:                 | 69.08*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /día |
| Salinidad de infiltración aguas residuales:          | 0.62 ppt                                  |
| Conc. media fósforo infiltración aguas residuales:   | 6.58mg/L                                  |
| Conc. media nitrógeno infiltración aguas residuales. | 27.04mg/L                                 |
| Relación de Redfield C:N:P                           | 162.3; 24.5; 1                            |

Posteriormente, es necesario alimentar el programa LOICZ, con los datos de área del sistema (bahía), y la profundidad media para calcular el volumen promedio de la bahía. Se requieren ingresar los datos de salinidad, concentración de fósforo y nitrógeno de la bahía y de un punto de referencia en el océano abierto. También es necesario establecer los datos de precipitación, evaporación, flujo de aguas subterráneas, el escurrimiento de los arroyos y la infiltración de aguas residuales en el sistema por pérdida en el sistema de alcantarillado, así como la salinidad y las concentraciones de fósforo y nitrógeno de cada uno de estos flujos. Modificando la relación de Redfield para nutrientes en 162.3 : 24.5 : 1 (C:N:P), de acuerdo a la estequiometría de los resultados de laboratorio de las muestras de la bahía en los meses de Marzo y Julio 2008.

Figura 25. Datos de entrada para el modelo LOICZ, balance de flujo y salinidad, 2° Escenario condiciones medias – medias críticas.

Period  N° of days \*

|               | Area  | Volume                              | Salinity                             | [DIP]                                | [DIN]                              |
|---------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
|               | (km <sup>2</sup> )                                  | (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )   | (psu)                                | (mmol m <sup>-3</sup> )              | (mmol m <sup>-3</sup> )            |
| <b>System</b> | * <input type="text" value="19.9"/> km <sup>2</sup> | <input type="text" value="518594"/> | * <input type="text" value="32.82"/> | * <input type="text" value="0.056"/> | * <input type="text" value="1.2"/> |
| depth         | <input type="text" value="26.06"/> m >              |                                     |                                      |                                      |                                    |
| <b>Sea</b>    | -   | -                                   | * <input type="text" value="33.05"/> | * <input type="text" value="0.026"/> | * <input type="text" value="1.2"/> |

**Inputs/outputs**

(negative flows are outputs from the system)

|                      | Flow  | Salinity                              | [DIP]                               | [DIN]                               |
|----------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                      | (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )             | (psu)                                 | (mmol m <sup>-3</sup> )             | (mmol m <sup>-3</sup> )             |
| <b>Precipitation</b> | <input type="text" value="1243.8"/> mm period <sup>-1</sup> > | * <input type="text" value="67.813"/> | * <input type="text" value="0.1"/>  | * <input type="text" value="0.01"/> |
| <b>Evaporation</b>   | <input type="text" value="576.3"/> mm period <sup>-1</sup> >  | * <input type="text" value="-31.42"/> |                                     |                                     |
| <b>Ground water</b>  |   | * <input type="text" value="37.45"/>  | * <input type="text" value="0.0"/>  | * <input type="text" value="0.01"/> |
|                      |   |                                       | * <input type="text" value="2.78"/> |                                     |

| Others                                   | Typology                                  | Flow                               | Salinity                          | DIP                               | DIN                                |
|--|---|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| # 1 <input type="text" value="Arroyos"/> | <input type="text" value="runoff"/>       | <input type="text" value="64.74"/> | <input type="text" value="1.35"/> | <input type="text" value="1.12"/> | <input type="text" value="14.13"/> |
| # 2 <input type="text" value="AgsRs"/>   | <input type="text" value="civil sewage"/> | <input type="text" value="69.08"/> | <input type="text" value="0.62"/> | <input type="text" value="6.58"/> | <input type="text" value="27.04"/> |
| # 3 <input type="text" value=""/>        | <input type="text" value="runoff"/>       | <input type="text" value="0"/>     | <input type="text" value="0"/>    | <input type="text" value="0"/>    | <input type="text" value="0"/>     |

For the stoichiometric calculations define the C:N:P ratio for primary producers

C  : N  : P

Redfiled ratio for phytoplankton is 106:16:1  
 Atkinson & Smith ratio for macroalgae is 335:35:1

Una vez ingresados estos datos, el modelo nos proporciona una serie de datos de salida, en donde podemos apreciar que de acuerdo al cálculo del balance baja estas de estas condiciones en el sistema, hay un flujo residual hacia el mar de aproximadamente de  $-207.7 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$  hacia el océano, manteniendo una salinidad en la zona de mezcla de aproximadamente 32.94 ppt y teniendo un intercambio de flujo diario neto entre la bahía y el océano de  $29,150.6 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ , además de tener un tiempo de recambio o permanencia de 18 días.

En la figura 26, se observan los datos de salida del modelo para el balance de nutrientes. En dichos resultados podemos ver las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el sistema, así como las cargas totales para un periodo de un año.

De igual forma, anualmente se incorporan al sistema de la bahía un aproximado de 5981 kg de fósforo y 14775 kg de nitrógeno, además de que existe una retención de nutrientes de un orden de 13502 kg de nitrógeno, por lo que el sistema de bahía actúa como sumidero de nitrógeno, mientras que tiene una exportación de 3041 kg al año de fósforo hacia el océano, por lo cual actúa como fuente de fósforo.

Figura 26. Datos de entrada para el modelo LOICZ, balance de nutrientes, 2° escenario Condiciones medias – medias críticas.

**Results**

**Water and Salt Budget**

|  |         |                                   |
|--|---------|-----------------------------------|
| Residual flow to the sea ( $V_R$ )             | -207.7  | $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ |
| Average salinity at the boundary ( $S_R$ )     | 32.94   | psu                               |
| Exchange flow between system and sea ( $V_X$ ) | 29150.6 | $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ |
| Turnover time (t)                              | 18      | d                                 |

**Nutrients Budget**

|  | DIP         | DIN          |                               |
|--|-------------|--------------|-------------------------------|
| Average concentrations at the boundary ( $Y_R$ ) | 0.04        | 1.2          | $\text{mmol m}^{-3}$          |
| Daily load from precipitation ( $VDIY_p$ )       | 1           | 3            | $\text{mol d}^{-1}$           |
| Daily load from ground water ( $VDIY_g$ )        | 0           | 104          | $\text{mol d}^{-1}$           |
| Daily load from <b>Arroyos</b>                   | 73          | 915          | $\text{mol d}^{-1}$           |
| Daily load from <b>AgsRs</b>                     | 455         | 1868         | $\text{mol d}^{-1}$           |
| Daily load from                                  | 0           | 0            | $\text{mol d}^{-1}$           |
| <b>Total load during study period</b>            | <b>5981</b> | <b>14775</b> | <b>kg period<sup>-1</sup></b> |

|  | DIP    | DIN   |                                     | DIP   | DIN    |                         |
|--|--------|-------|-------------------------------------|-------|--------|-------------------------|
| Residual exchange between system and sea ( $V_RDIY_R$ )      | -8     | -249  | $\text{mol d}^{-1}$                 | -90   | -1273  | $\text{kg period}^{-1}$ |
| Exchange between system and sea ( $V_XDIY_X$ )               | -875   | 0     | $\text{mol d}^{-1}$                 | -9892 | 0      | $\text{kg period}^{-1}$ |
| Total sea-lagoon fluxes (negative = export)                  | -883   | -249  | $\text{mol d}^{-1}$                 | -9983 | -1273  | $\text{kg period}^{-1}$ |
| Difference: sources - sinks (DDIY)                           | 354    | -2641 | $\text{mol d}^{-1}$                 | 4002  | -13502 | $\text{kg period}^{-1}$ |
| Daily difference: sources - sinks (DDIY) per $\text{m}^{-2}$ | 0.02   | -0.1  | $\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ |       |        |                         |
| The system act as:   | source | sink  |                                     |       |        |                         |

**Stoichiometric calculations**

|   |              |                                     |
|---|--------------|-------------------------------------|
| Net Ecosystem Metabolism: p - r (NEM)   | -3.2         | $\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ |
| Based on the NEM, the system globally is  | eterotrophic |                                     |
| Expected DDIN   | 0.49         | $\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ |
| Difference between atmospheric nitrogen fixation and denitrification processes (Nfix-denit) | -0.59        | $\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ |

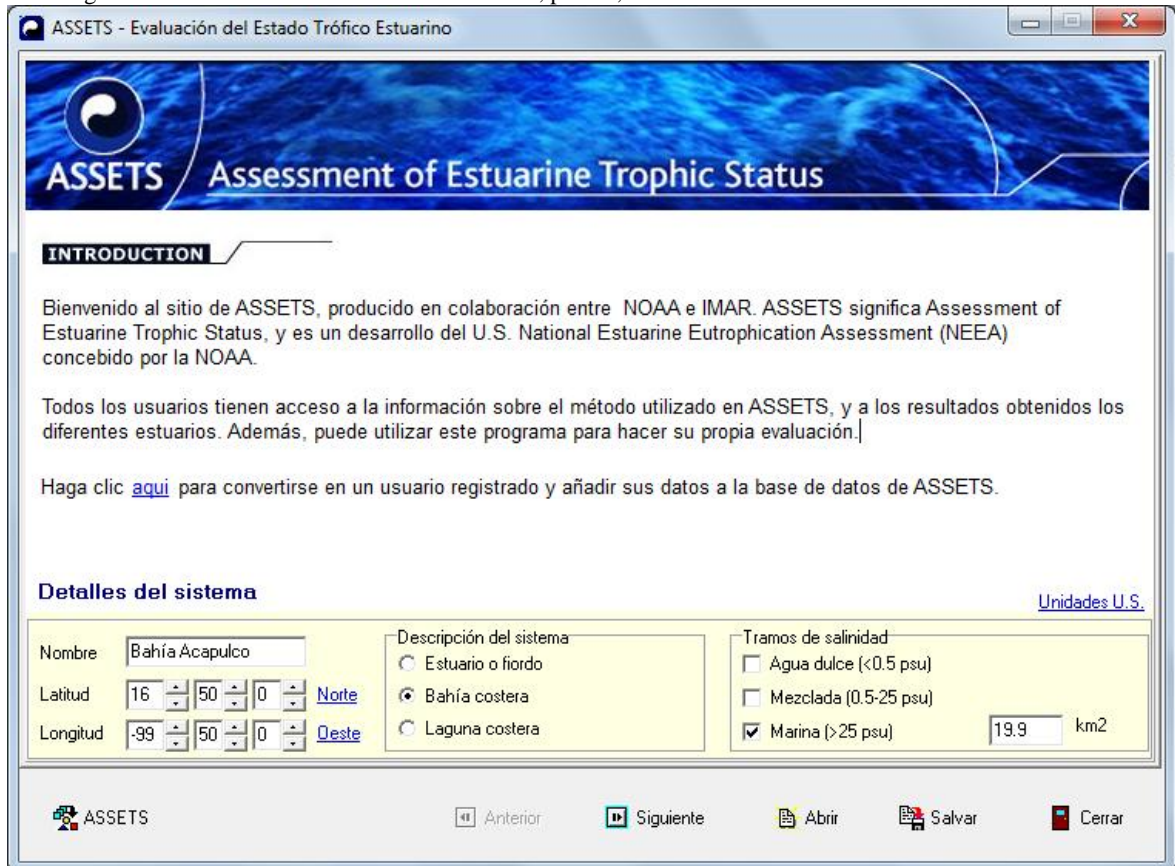
Para el caso del modelo ASSETS, un segundo escenario estará considerando bajo condiciones de concentraciones medias y medias-críticas de presión por factores urbanos, agrícolas y por tratamiento de aguas residuales, además de estimar el incremento de síntomas primarios, tales como la concentración de clorofila a, aunado con la aparición episódica de florecimientos algales de especies nocivas en los síntomas secundarios. Tal y como se observa en la tabla 22, que resume dichos parámetros de calibración para este escenario.

Tabla 22 Datos de entrada para el modelo ASSETS, 2° escenario, condiciones medias - medias críticas.

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| Prisma de marea medio:                          | $27 \cdot 10^3 \text{ m}^3$    |
| Mareas por día:                                 | 2                              |
| Fracción del agua de refluo no substituida:     | 0.5                            |
| Conc. media de nitrógeno en el río:             | 27.7mg/L                       |
| Conc. media de nitrógeno en el sistema (bahía): | 1.2mg/L                        |
| Carga de nitrógeno en efluentes:                | 131.03 ton/año                 |
| Volumen de la bahía:                            | $518.7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ |
| Caudal del o los ríos:                          | 150 L/s                        |
| Carrera de marea:                               | 3                              |

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| Oxígeno disuelto promedio en el sistema:   | 8 mg/L                         |
| Conc. promedio clorofila a                 | 10µg/L                         |
| Presencia de algas y vegetación sumergida: | Observados, episódicos         |
| Ponderación presión agricultura/población: | 10% agricultura; 90% población |
| Ponderación presión urbana:                | 7, medianamente incrementado   |
| Ponderación presión trat. ags rs:          | 7, medianamente incrementado   |
| Área del sistema (bahía):                  | 19.9 km <sup>2</sup>           |

Figura 27. Datos de entrada del Modelo ASSETS, parte 1, 2° escenario Condiciones medias – medias críticas.



**ASSETS - Evaluación del Estado Trófico Estuarino**

**ASSETS Assessment of Estuarine Trophic Status**

**INTRODUCTION**

Bienvenido al sitio de ASSETS, producido en colaboración entre NOAA e IMAR. ASSETS significa Assessment of Estuarine Trophic Status, y es un desarrollo del U.S. National Estuarine Eutrophication Assessment (NEEA) concebido por la NOAA.

Todos los usuarios tienen acceso a la información sobre el método utilizado en ASSETS, y a los resultados obtenidos los diferentes estuarios. Además, puede utilizar este programa para hacer su propia evaluación.

Haga clic [aquí](#) para convertirse en un usuario registrado y añadir sus datos a la base de datos de ASSETS.

**Detalles del sistema** [Unidades U.S.](#)

Nombre: Bahía Acapulco

Latitud: 16 50 0 Norte

Longitud: -99 50 0 Oeste

Descripción del sistema:

- Estuario o fiordo
- Bahía costera
- Laguna costera

Tramos de salinidad:

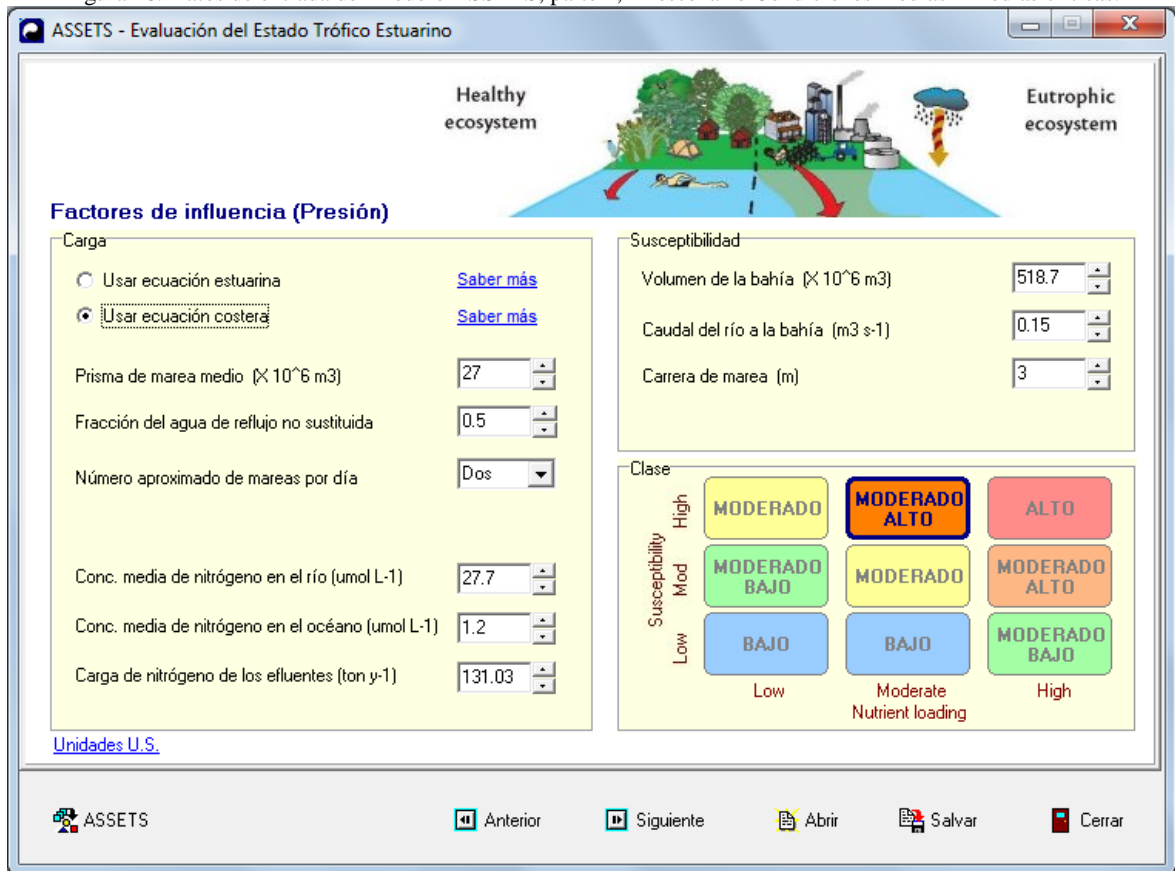
- Agua dulce (<0.5 psu)
- Mezclada (0.5-25 psu)
- Marina (>25 psu)

19.9 km<sup>2</sup>

ASSETS Anterior Siguiente Abrir Salvar Cerrar

De acuerdo con los datos ingresados en el modelo, la bahía presenta un nivel de susceptibilidad moderadamente alto a procesos de eutrofización, esto se debe principalmente a las cargas de nitrógeno provenientes de los escurrimientos de los arroyos, que desembocan en el sistema de la bahía, los cuales presentan una concentración media de 27.7mg/L con un escurrimiento mínimo considerado en 150 L/s, de acuerdo a información de campo recabada en los meses de Marzo y Julio de 2008.

Figura 28. Datos de entrada del Modelo ASSETS, parte 2, 2° escenario Condiciones medias – medias críticas.



**ASSETS - Evaluación del Estado Trófico Estuarino**

Healthy ecosystem | Eutrophic ecosystem

**Factores de influencia (Presión)**

**Carga**

Usar ecuación estuarina [Saber más](#)

Usar ecuación costera [Saber más](#)

Prisma de marea medio ( $\times 10^6$  m<sup>3</sup>)

Fracción del agua de refluo no sustituida

Número aproximado de mareas por día

Conc. media de nitrógeno en el río ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )

Conc. media de nitrógeno en el océano ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )

Carga de nitrógeno de los efluentes (ton y<sup>-1</sup>)

[Unidades U.S.](#)

**Susceptibilidad**

Volumen de la bahía ( $\times 10^6$  m<sup>3</sup>)

Caudal del río a la bahía (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

Carrera de marea (m)

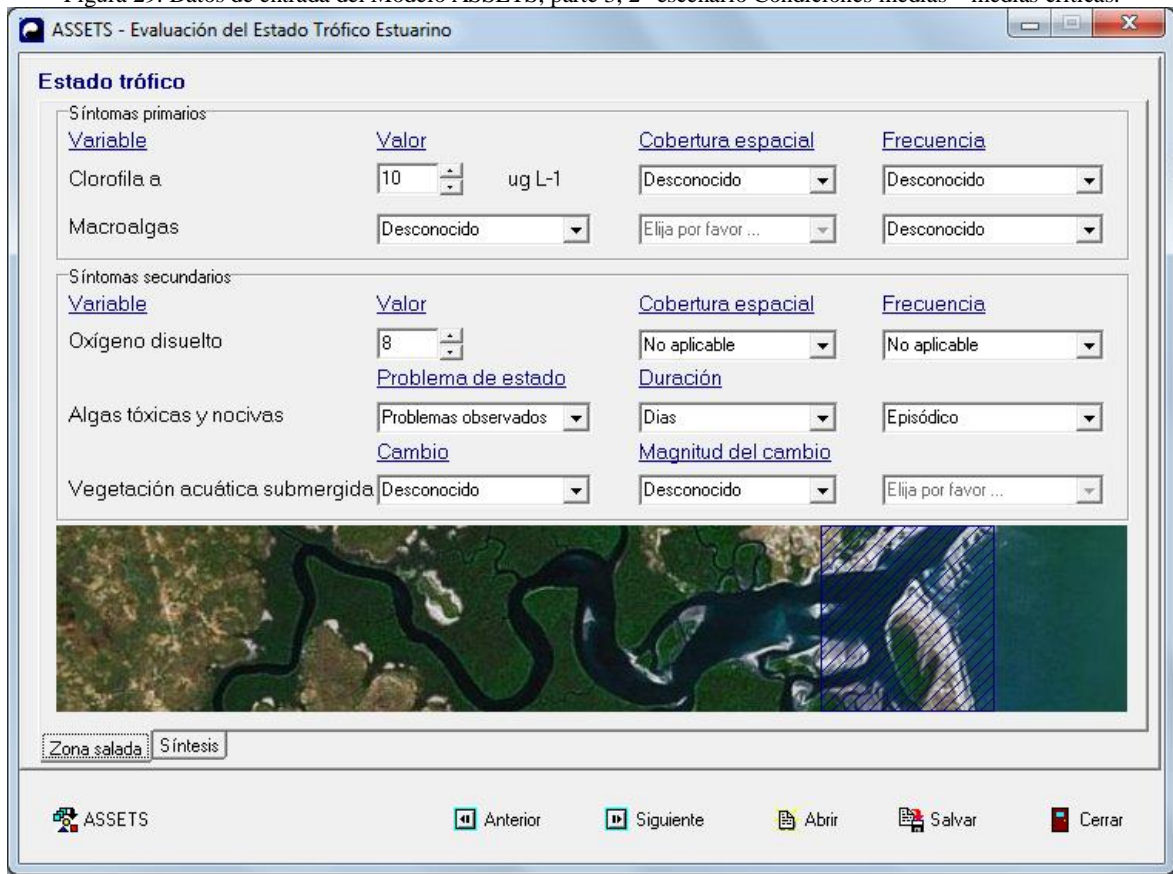
**Clase**

|                |      |                  |                      |               |
|----------------|------|------------------|----------------------|---------------|
| Susceptibility | High | MODERADO         | <b>MODERADO ALTO</b> | ALTO          |
|                | Mod  | MODERADO BAJO    | MODERADO             | MODERADO ALTO |
|                | Low  | BAJO             | BAJO                 | MODERADO BAJO |
|                |      | Low              | Moderate             | High          |
|                |      | Nutrient loading |                      |               |

ASSETS    Anterior    Siguiente    Abrir    Guardar    Cerrar

Este modelo, además, considera como parte de la evaluación del estado trófico del sistema, la integración de condiciones o síntomas primarios y secundarios de un proceso de eutrofización, como la concentración de clorofila *a*, la aparición de macroalgas, la concentración de oxígeno disuelto y la presencia de algas y vegetación acuática sumergida en el sistema. Para este caso, se tomó el valor promedio de 10  $\mu\text{g/L}$  de *clorofila a*, la misma que fue cuantificada en el laboratorio a partir de varios puntos elegidos a través de las estaciones de muestreo en la bahía, llevándose a cabo en las dos ocasiones que duró el trabajo de esta tesis. De igual forma, se tomó como valor promedio para el parámetro de oxígeno disuelto, expresado como  $\text{mg/L}$ , el valor de 8. Además de estas condicionantes, se tomó en cuenta la aparición episódica con duración de algunos días de florecimiento de algas tóxicas y nocivas, tales como la marea roja, que en algunas ocasiones se ha presentado en el sistema de la bahía y el cual puede ser interpretado como un síntoma secundario de un proceso de eutrofización del sistema. Figura 29.

Figura 29. Datos de entrada del Modelo ASSETS, parte 3, 2º escenario Condiciones medias – medias críticas.



**ASSETS - Evaluación del Estado Trófico Estuarino**

**Estado trófico**

Síntomas primarios

| Variable    | Valor       | Cobertura espacial  | Frecuencia  |
|-------------|-------------|---------------------|-------------|
| Clorofila a | 10 ug L-1   | Desconocido         | Desconocido |
| Macroalgas  | Desconocido | Elija por favor ... | Desconocido |

Síntomas secundarios

| Variable                       | Valor                | Cobertura espacial  | Frecuencia          |
|--------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Oxígeno disuelto               | 8                    | No aplicable        | No aplicable        |
| Algas tóxicas y nocivas        | Problemas observados | Duración            | Episódico           |
| Vegetación acuática submergida | Desconocido          | Magnitud del cambio | Elija por favor ... |

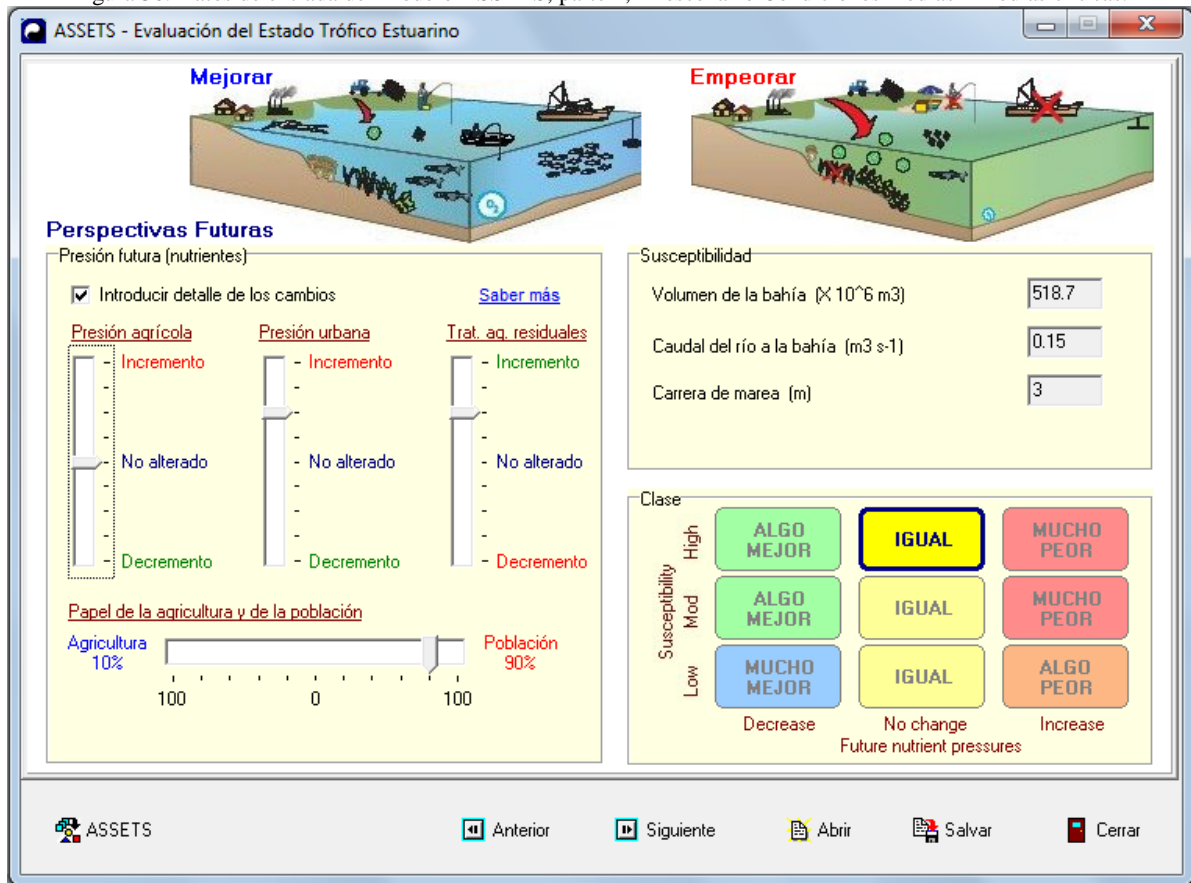
Zona salada Síntesis

ASSETS    Anterior    Siguiete    Abrir    Salvar    Cerrar

El modelo, de forma general, proporciona algunas perspectivas futuras al cambio, las cuales son representadas a través en la figura 30. De acuerdo con la información ingresada en esta calibración al modelo, se puede predecir que el sistema de la bahía presentará una tendencia a conservar las condiciones en las que actualmente se encuentra.



Figura 30. Datos de entrada del Modelo ASSETS, parte 4, 2º escenario Condiciones medias – medias críticas.



De forma resumida, en la figura 31, la cual es producto de salida del modelo ASSETS para la bahía de Acapulco, Guerrero, manteniendo las condiciones que se manejaron para dicha calibración y que están representadas en la tabla 22. En la bahía, se presenta un índice de susceptibilidad moderadamente alto a los procesos de un proceso de eutrofización de la misma, la cual está caracterizada por un bajo potencial de dilución y un potencial de flujo moderado, con un nivel moderado de entrada de nutrientes. De igual forma, el sistema, cuenta con bajos síntomas primarios, tales como las bajas concentraciones de clorofila a. además, en el mismo sistema, se presentan síntomas secundarios de bajo nivel, como la presencia de algas tóxicas y nocivas como es la floración esporádica de marea roja.

Manteniendo una perspectiva a futuro de la condición de la bahía, sin alteración de las condiciones que están establecidas en el sistema en este momento. Por lo que se puede inferir que dicho sistema a pesar de recibir una fuerte carga de nutrientes por las descargas de los arroyos que desembocan directamente en la bahía y transportan en buena medida aguas residuales crudas en buena parte de sus cauces, no tienden a favorecer un aumento considerable en las condiciones eutróficas de la bahía, por lo que se esperaría que el sistema se mantenga estable a pesar de recibir una fuerte presión debido a factores urbanos.

Figura 31. Datos de entrada del Modelo ASSETS, parte 5, 2° escenario Condiciones medias – medias críticas.

| Índices   | Métodos                     | Parámetros                                 | Clase       | Nivel de expresión | Índice        |
|---|-----------------------------|--|-------------|--------------------|---------------|
| Factores de influencia (IF)<br><b>ASSETS: 2</b> | Susceptibilidad             | Potencial de dilución                      | Bajo        | Alto               | Moderado Alto |
|   |                             | Potencial de flujo                         | Moderado    |                    |               |
| Estado trófico (EC)<br><b>ASSETS: 5</b>         | Síntomas primarios          | Clorofila a                                | Bajo        | Bajo               | Bajo          |
|   |                             | Macroalgas                                 | Desconocido |                    |               |
|   | Síntomas secundarios        | Oxígeno disuelto                           | Bajo        | Bajo               |               |
|   |                             | Algas tóxicas y nocivas                    | Bajo        |                    |               |
| Perspectivas de futuro (FO)<br><b>ASSETS: 3</b> | Presión futura (nutrientes) | Presión futura (nutrientes) sin alteración |             | Igual              |               |

### 7.9 Relación de nutrientes N:P (Relación de Redfield) & fitoplancton..

La relación de Redfield, se refiere a la relación estequiométrica en la cual se encuentran los nutrientes carbono : nitrógeno : fósforo (C:N:P) en la composición química de la biomasa marina. Esta relación fue determinada por vez primera, por el oceanógrafo estadounidense Alfred Redfield, en su publicación “*On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton*”<sup>60</sup> del año 1934. En dicha publicación Redfield, produjo una estimación muy sólida entre la química del océano profundo y la química de la biomasa en la superficie del océano, en donde los nutrientes no son limitantes, la proporción molar de los elementos C:N:P en la mayor parte del fitoplancton es 106:16:1, relaciones que interacciona con los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno, fósforo, carbono y oxígeno N, P, C y O para dar este resultado.

Esta proporción al estar estrechamente ligada con la composición bioquímica de la biomasa fitoplanctónica, es susceptible de ser alterada debido al aumento en uno o más nutrientes, favoreciendo un determinado ciclo biológico o a algún grupo taxonómico en una determinada región espacio-temporal.

De la tabla de datos para alimentación del modelo LOICZ y en particular para el segundo escenario (condiciones medias y medias-críticas) se establece una relación de Redfield

modificada, la cual está determinada por las concentraciones promedio de las estaciones de muestreo en la bahía de Acapulco durante los meses de Marzo y Julio 2008, en la cual la proporción entre N:P es de 24.5:1 como se muestra en la tabla 23. Misma que ha sido comparada con la relación de Redfield, determinada para aguas marinas, que establece una proporción estequiométrica de 137:20:1 (C:N:P)<sup>61y62</sup>.

Tabla 23. Determinación de la relación de Redfield en la bahía de Acapulco Gro.

| Estación                           | P total (mg/L) |            | N total (mg/L) |            | Relacion Redfield |      |
|------------------------------------|----------------|------------|----------------|------------|-------------------|------|
|                                    | mar-08         | julio 2008 | marzo 2008     | julio 2008 | P                 | N    |
| E5                                 | 0.053          | 0.090      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 16.8 |
| E6                                 | 0.107          | 0.050      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 15.3 |
| E7                                 | 0.049          | 0.019      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 35.5 |
| E8                                 | 0.030          | 0.020      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 48.0 |
| E10                                | 0.019          | 0.050      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 35.0 |
| E11                                | 0.034          | 0.050      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 28.6 |
| E12                                | 0.035          | 0.080      | 1.50           | 1.20       | 1                 | 23.5 |
| E13                                | 0.052          | 0.050      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 23.5 |
| E14                                | 0.019          | 0.040      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 41.0 |
| E15                                | 0.036          | 0.060      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 25.0 |
| E16                                | 0.035          | 0.030      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 36.9 |
| E17                                | 0.041          | 0.180      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 10.9 |
| E18                                | 0.019          | 0.090      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 22.1 |
| E19                                | 0.052          | 0.080      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 18.2 |
| E20                                | 0.042          | 0.090      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 18.2 |
| E21                                | 0.043          | 0.070      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 21.2 |
| E22                                | 0.043          | 0.030      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 32.9 |
| E23                                | 0.030          | 0.030      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 40.0 |
| E24                                | 0.032          | 0.040      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 33.3 |
| E25                                | 0.034          | 0.019      | 1.20           | 1.20       | 1                 | 45.6 |
| <b>Promedio</b>                    | <b>0.049</b>   |            | <b>1.21</b>    |            |                   |      |
| <b>Relación de Redfield Global</b> | <b>1</b>       |            | <b>24.5</b>    |            |                   |      |

A partir de esta relación modificada de Redfield, se verificó el favorecimiento de florecimientos algales nocivos en el interior del sistema, esto de acuerdo con los aportes de nutrientes al sistema y debido a que estos son considerados un síntoma secundario del enriquecimiento de la bahía y una alerta en el aumento del nivel de estado trófico, en el que actualmente se encuentra la bahía. Es por esto que fue necesario recurrir a estudios de identificación de la composición fitoplanctónica, que se llevó a cabo durante las visitas de muestreo en los meses de Marzo y Julio de 2008.

En estos meses, se realizó un muestreo de la comunidad fitoplanctónica existente (puntos previamente seleccionados, ver figura 32), a fin de llevar a cabo una identificación de los géneros presentes y asociarlos con las concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo). En dichos muestreos se pudieron identificar organismos de los siguientes géneros que se muestra en la tabla 24.

Figura 32. Puntos de muestreo de la comunidad fitoplanctónica.



Tabla 24. Géneros identificados en el muestreo de fitoplancton en la bahía de Acapulco Gro.

|                           | Géneros identificados               | Estaciones al interior de la bahía |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                           |                                     | F12                                | F13       | F14       | F15       | F16       | F17       | F18       | F19       | F20       |
| Diatomeas                 | <i>Actinoptychus sp.</i>            |                                    |           | x         |           | x         |           |           |           |           |
|                           | <i>Asteromphalus sp.</i>            |                                    |           |           |           |           | x         |           |           |           |
|                           | <i>Biddulphia sp.</i>               |                                    |           | x         |           |           |           |           |           |           |
|                           | <i>Bacteriastrium sp.</i>           | x                                  |           |           |           |           |           |           |           | x         |
|                           | <i>Chaetoceros sp.</i>              | x                                  | x         | x         | x         |           |           |           |           |           |
|                           | <i>Corethrom sp.</i>                |                                    |           |           |           | x         | x         | x         | x         | x         |
|                           | <i>Coscinodiscus sp.</i>            |                                    |           | x         | x         |           |           |           |           |           |
|                           | <i>Ditylum sp.</i>                  |                                    |           |           |           | x         |           |           |           |           |
|                           | <i>Hemiaulus sp.</i>                |                                    |           |           |           |           |           |           | x         | x         |
|                           | <i>Leptocylindrus sp.</i>           |                                    |           | x         | x         |           | x         |           |           |           |
|                           | <i>Lithodesmium sp.</i>             |                                    |           |           |           |           |           |           |           |           |
|                           | <i>Melosira sp.</i>                 |                                    |           | x         |           |           | x         |           | x         |           |
|                           | <i>Planktoniella sp.</i>            |                                    |           |           |           |           |           | X         |           |           |
|                           | <i>Rhizosolenia spp.</i>            | x                                  | x         |           | x         |           | x         |           |           |           |
|                           | <i>Schroderella spp.</i>            |                                    |           |           | x         |           |           |           |           |           |
|                           | <i>Thalassiosira sp.</i>            |                                    |           |           |           |           |           |           | x         | x         |
|                           | <i>Skeletonema sp.</i>              |                                    |           | x         | x         | x         |           | x         |           |           |
|                           | <i>Stephanopyxis sp.</i>            |                                    |           |           | x         |           |           |           |           | x         |
|                           | <i>Amphora sp.</i>                  |                                    |           |           |           |           | x         | x         |           |           |
|                           | <i>Pseudonitzschia sp.</i>          | x                                  |           | x         | x         |           |           |           | x         |           |
| <i>Pleurosigma sp.</i>    |                                     | x                                  |           |           | x         | x         |           |           |           |           |
| <i>Tropidoneis sp.</i>    | x                                   |                                    |           |           |           | x         |           | x         |           |           |
| <i>Thalassionema sp.</i>  |                                     | x                                  | x         |           |           |           |           |           |           |           |
| <i>Thalassiothrix sp.</i> |                                     |                                    | x         |           | x         |           | x         |           |           |           |
| Dinoflagelados            | <i>Ceratium sp.</i>                 |                                    |           |           |           |           |           |           |           |           |
|                           | <i>Cochlodinium sp.</i>             |                                    |           |           |           |           | x         |           |           |           |
|                           | <i>Dinophysis sp.</i>               |                                    |           | x         |           | x         |           | x         | x         | x         |
|                           | <i>Gonyaulax sp.</i>                |                                    |           | x         | x         |           |           | x         | x         | x         |
|                           | <i>Gonodroma sp.</i>                |                                    |           |           |           |           |           |           |           |           |
|                           | <i>Gymnodinium sp.</i>              |                                    |           |           |           | x         | x         |           |           |           |
|                           | <i>Peridinium sp.</i>               | x                                  | x         |           | x         | x         |           | x         | x         |           |
|                           | <i>Phalacroma sp.</i>               |                                    |           |           |           |           |           |           | x         |           |
|                           | <i>Plectodinium sp.</i>             |                                    |           |           |           | x         |           | x         |           | x         |
|                           | <i>Pyrocystis sp.</i>               |                                    |           |           |           |           | x         |           | x         | x         |
|                           | <b>Porcentaje de Diatomeas</b>      | <b>83</b>                          | <b>80</b> | <b>83</b> | <b>80</b> | <b>60</b> | <b>73</b> | <b>56</b> | <b>55</b> | <b>56</b> |
|                           | <b>Porcentaje de Dinoflagelados</b> | <b>17</b>                          | <b>20</b> | <b>17</b> | <b>20</b> | <b>40</b> | <b>27</b> | <b>44</b> | <b>45</b> | <b>44</b> |

De acuerdo con este listado de organismos identificados en las muestras de plancton recopiladas por arrastre por medio de una red de 45 micrómetros, en los sitios antes representados en la figura 32, existe un marcado predominio de diatomeas, en casi un 70% de forma general por sobre un 30% de ocurrencia de dinoflagelados en el interior de la bahía. En dicho muestreo, se identificaron algunos géneros como *Gonyaulax sp.*, *Alexandrium sp.*, *Dynophysis sp.* algunos de ellos pueden producir intoxicaciones como por ejemplo: *paralytic shellfish poisoning (PSP)*, una enfermedad aguda tipificada por entumecimiento de labios, lengua y dedos<sup>63</sup> encontrados

principalmente en las estaciones situadas frente a las descargas de los escurrimientos de los arroyos ricos en nutrientes, siendo estos aportes de aguas continentales uno de los principales reguladores de la composición fitoplanctónica de la bahía, ya que no se aprecia una diferencia significativa en condicionantes ambientales y fisicoquímicos, como cambios de temperatura y/o cambios de salinidad.

De acuerdo con Fraga (2001)<sup>64</sup>, las estrategias de participación del fitoplancton, no cumplen con la relación de nutrientes que estableció Redfield (106C:16N:1P), ya que el fitoplancton emplea diferentes estrategias para la obtención de uno o más nutrientes que se pudiesen haber agotado o disminuido en su concentración dentro de la zona fótica, este fenómeno incluye a especies fitoplactónicas como las diatomeas y los dinoflagelados, los cuales, pueden desplazarse a través de la columna de agua durante un ciclo diario en busca de nutrientes para establecer un crecimiento continuo. Se han encontrado relaciones de 106C:24N:1P en donde existe nitrógeno disponible en el agua en forma de material particulado por resuspensión o servido de aguas residuales en un cuerpo de agua<sup>65</sup>.

Las floraciones de algas nocivas en aguas costeras, causan graves problemas y parecen estar relacionados con el exceso de oferta de nutrientes. En este tipo de alta disponibilidad de nutrientes y situaciones de baja turbulencia se propicia la aparición de floraciones de dinoflagelados (marea roja).<sup>66</sup> Kana et al<sup>67</sup>, determinaron que el nitrógeno en algunas de sus especies reactivas favorecen el crecimiento de *Aureococcus anophagefferens* (marea marrón). Este tipo de floraciones pueden ser divididas en dos grupos que pueden producir toxinas (las cuales contaminan a los mariscos y pescados y/o matan a los organismos marinos) y los productores de biomasa (causando hipoxia y anoxia en el sistema). Además de esto, las floraciones son el producto de la concentración masiva, impredecible y esporádica de fitoplancton, principalmente dinoflagelados, los cuales llegan a teñir grandes extensiones marinas con coloraciones que van del rojo, hasta el amarillo – ocre, su duración es irregular y se ve favorecida por la interacción entre factores ambientales, biológicos y antropogénicos.<sup>68</sup>

Analizando las relaciones estequiométricas de nutrientes particulares de cada una de las estaciones de bahía, se puede observar que existen coincidencias entre los sitios de mayor alteración estequiométrica de nitrógeno - fósforo en las estaciones que se encuentran frente a la costa de la isla de Roqueta, la Bocana de la bahía en la estación E<sub>8</sub>, en la zona del embarcadero internacional (muelle) y frente al club de yates, así como frente a la playas de Aguas Blancas y el Camarón, en donde se recibe el mayor aporte de nutrientes por escurrimiento de drenaje de la cuenca, además de la estación E<sub>23</sub>, que se encuentra presumiblemente y de acuerdo con información extraoficial, cerca de un emisor submarino frente a las playas de Condesa y Copacabana. Y es en estos lugares en donde se aprecia la mayor proporción de géneros de dinoflagelados en la composición fitoplanctónica, reforzando con esto la información bibliográfica que hace mención de que los géneros de dinoflagelados tienen mayor dominancia en estratos ricos en nitrógeno, propiciando con esto, floraciones de especies tóxicas y nocivas.

Por otra parte, la estación de referencia para bahía, la estación E<sub>25</sub>, también presenta una relación estequiométrica de nutrientes muy elevada, por lo que pudiera estar coincidiendo en la zona de mezcla o pluma de la descarga de aguas residuales que tiene un movimiento con dirección sur-sureste, bordeando la bocana de la bahía, como se pudo corroborar con un experimento de medición *Lagrangeana* de corrientes, dentro y fuera de la bahía en donde se

constató esta trayectoria dominante con el movimiento de una serie de boyas, aunado a la dispersión de espuma de la pluma de aguas residuales.

### 7.10 Análisis de resultados de nutrientes y microbiológicos en los arroyos

De acuerdo con los resultados obtenidos de los dos muestreos llevados a cabo en los meses de Marzo y Julio del año 2008, se obtuvieron los siguientes datos fisicoquímicos de las muestras de los escurrimientos que en esos meses se podían advertir en los arroyos Aguas Blancas, El Camarón y La Garita (La Diana), se presentan a continuación en la tabla 25.

Tabla 25 Datos de calidad del agua del primer y segundo muestreo en campo en las estaciones de arroyos.

| Sitio         | Temperatura °C |            | pH         |            | OD (ppm)   |            |
|---------------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|               | marzo 2008     | julio 2008 | marzo 2008 | julio 2008 | marzo 2008 | julio 2008 |
| Aguas Blancas | 27.13          | 29.20      | 7.36       | 7.40       | 1.32       | 2.29       |
| El Camarón    | NR             | 34.53      | NR         | 8.83       | NR         | 4.38       |
| La Garita     | 27.26          | 31.43      | 7.54       | 7.60       | 6.02       | 1.06       |

| Sitio         | TDS ppm    |            | Salinidad (ppt) |            | N total (mg/L) |            |
|---------------|------------|------------|-----------------|------------|----------------|------------|
|               | marzo 2008 | julio 2008 | marzo 2008      | julio 2008 | marzo 2008     | julio 2008 |
| Aguas Blancas | 726.79     | 4586.24    | 0.73            | 5.10       | 3.19           | 3.27       |
| El Camarón    | NR         | 327.21     | NR              | 0.31       | NR             | 55.60      |
| La Garita     | 367.20     | 293.66     | 0.36            | 0.28       | 2.34           | 6.26       |

| Sitio         | P-total (mg/L) |            | Coliformes Fecales (NMP/100ml) |            | Enterococos (NMP/100ml) |            |
|---------------|----------------|------------|--------------------------------|------------|-------------------------|------------|
|               | marzo 2008     | julio 2008 | marzo 2008                     | julio 2008 | marzo 2008              | julio 2008 |
| Aguas Blancas | 0.50           | <0.37      | 4.00E+00                       | 2.40E+06   | 2.38E+04                | 9.80E+04   |
| El Camarón    | NR             | 2.13       | NR                             | 1.10E+07   | NR                      | 1.93E+03   |
| La Garita     | 0.44           | 1.40       | 4.00E+00                       | 9.30E+06   | 2.41E+04                | 1.47E+04   |

En la tabla anterior se muestran los parámetros de campo que se obtuvieron en los dos muestreos, en donde se tomaron muestras de tres de los arroyos, que fueron los que presentaron flujo a través de sus causas hacia la zona de desembocadura en la bahía, zona en la cual, antes de la mezcla del flujo del arroyo con el agua de la bahía, se tomaron las muestras de agua de esta matriz para efectuar los análisis fisicoquímicos instantáneos y de laboratorio, para conocer las concentraciones de nitrógeno total, fósforo total, Coliformes fecales y Enterococos fecales, además de los parámetros ambientales instantáneos del sitio de trabajo.

En cuanto a los valores de temperatura, podemos ver que en los arroyos hubo un incremento de un par de grados Celsius en los arroyos Aguas Blancas y La Garita, éstos fueron los únicos que presentaron escurrimiento en sus causas en estas dos ocasiones, cabe mencionar que ambos arroyos, presentan olor característico a aguas residuales crudas, por lo que se puede presumir que presentan aportaciones cerca de las respectivas áreas de desembocadura. En cuanto al pH, ninguno de los arroyos, tuvo una variación significativa de este valor en los dos muestreos, manteniéndose en valores relativamente neutros a ligeramente alcalinos, los cuales

pueden estar presumiblemente asociados con la carga orgánica disuelta y la presencia de algas en lo arroyos, y alcalinizan ligeramente los efluentes.

En el parámetro de oxígeno disuelto se puede observar que dichos efluentes presentan bajas concentraciones del mismo debido a la presencia de materia orgánica disuelta, en el caso del arroyo La Garita, durante el primer muestreo, se observó que en el sitio se encuentra instalado de manera estética, un pequeño sistema de aereación a escasos metros de la desembocadura del arroyo en la bahía, esto puede explicar que esta muestra tenga una concentración de 6.02mg/L, ayudando con esto a la oxidación de la materia orgánica.

En el caso del parámetro sólidos disueltos totales (TDS) que se encuentran expresados en partes por millón (mg/L), se puede ver que en el caso del arroyo Aguas Blancas, hubo un incremento de 727 a 4586 mg/L, esto se puede explicar, debido a que en el primer muestreo en sequía (mes de Marzo) el agua presentó físicamente buena transparencia y ausencia de coloración, mientras que en el segundo muestreo (mes de Julio) en estación de lluvias, esta cuenca ya mostraba rastros de arrastre de materia orgánica coloidal, (fracción suspendida no filtrable, menor a 2 micras), la cual es la responsable de la presencia de coloración verdosa grisácea del agua con bastante olor característico a agua residual, lo que ocasiona turbidez en la muestra. Para el caso del arroyo La Garita, en el segundo muestreo en el mes de Julio, tuvo una disminución de la concentración. En esta ocasión, se había modificado ligeramente el área de toma de muestra debido principalmente a la acción mecánica del oleaje en la zona costera y el pequeño estanque en donde se encuentra el sistema de aereación se encontraba totalmente abierto, la lámina de agua era muy somera y mucho más clara que en la ocasión anterior. Durante el segundo muestreo, por el oleaje más intenso y el flujo de la descarga del arroyo era más somera, se propiciaba que esta se mezclara mucho más rápidamente, habiendo retorno de agua de la bahía hacia el escurrimiento del arroyo.

Para el caso del nitrógeno total, el agua proveniente de los escurrimientos de los arroyos tuvo un incremento, en el caso de Aguas Blancas no fue tan notable, mientras que para La Garita, fue casi de 3 veces el valor inicial (de 2.34mg/L a 6.26mg/L). El arroyo el Camarón, en el primer muestreo en el mes de Marzo, se encontraba sin escurrimiento hacia la zona costera, manteniendo solamente algunas pequeñas charcas en el cauce seco, el cual es aprovechado por algunos habitantes, para estacionar vehículos y como refugio debajo del puente que cruza la Costera M. Alemán, antes de llegar a la zona costera; durante el segundo muestreo, el arroyo presentó la máxima concentración de nitrógeno de los tres arroyos, físicamente, el agua que fluía a través del cauce, presentaba aportaciones de drenajes y materiales sólidos de desecho urbano que transportaba debido a los escurrimientos a través de la cuenca.

En cuanto respecta a los coliformes fecales, los tres arroyos presentaron un incremento en cuanto a su concentración en el mes de Marzo (4 coliformes fecales NMP/100mL) y alcanzaron concentraciones que van hasta órdenes de magnitud de  $1.10 \cdot 10^7$ , típicas de aguas residuales crudas provenientes de descargas urbanas que son vertidas de forma clandestina y otras por mal estado de la infraestructura hidráulica del sistema de colección de aguas residuales. En el caso de los Enterococos fecales, se presentó para los tres arroyos nuevamente un incremento, no tan marcado como en el caso de los coliformes fecales, pero si manteniéndose en órdenes de magnitud que van desde  $1.93 \cdot 10^3$  hasta  $9.8 \cdot 10^4$ .



Figura 33. Datos de calidad microbiológica del agua de los arroyos (coliformes fecales).

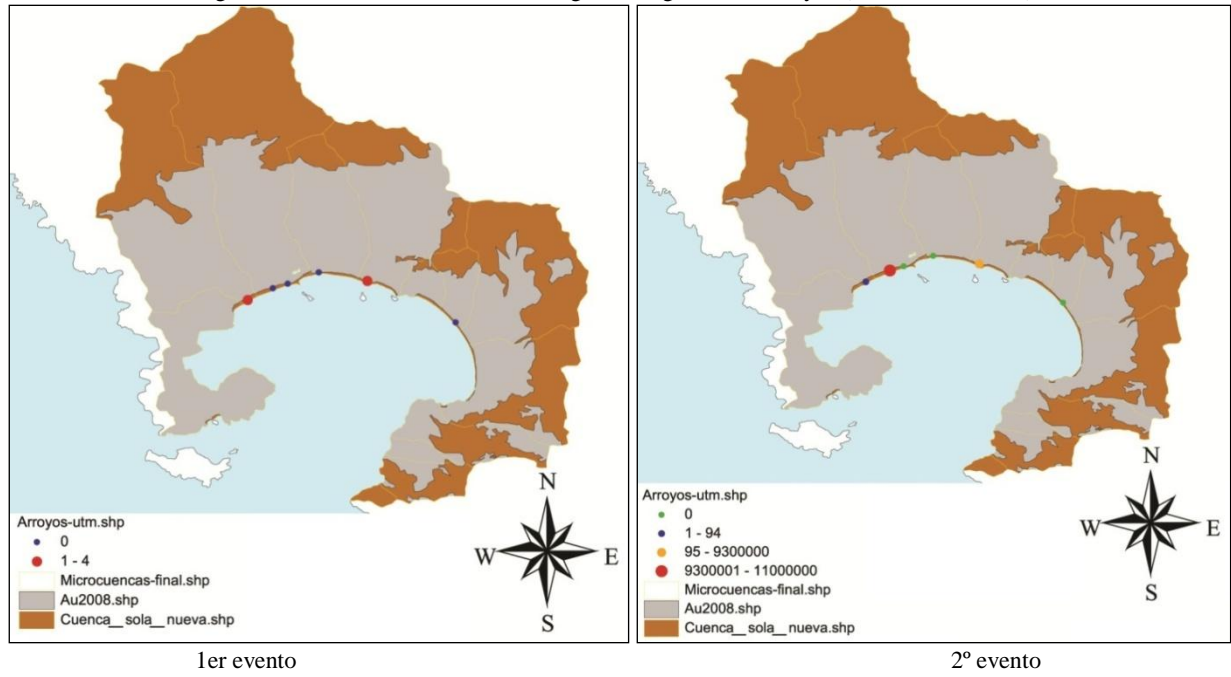
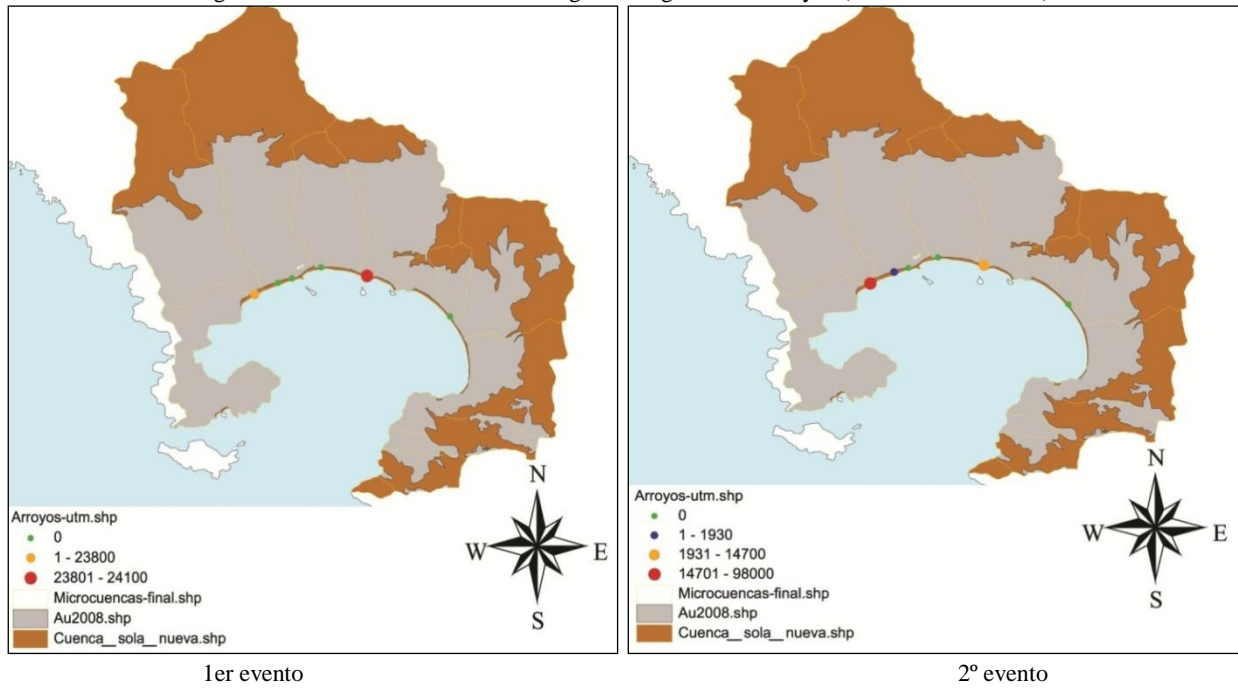


Figura 34. Datos de calidad microbiológica del agua de los arroyos (Enterococos fecales).



### 7.11 Análisis de resultados microbiológicos en los arroyos durante temporada de lluvias

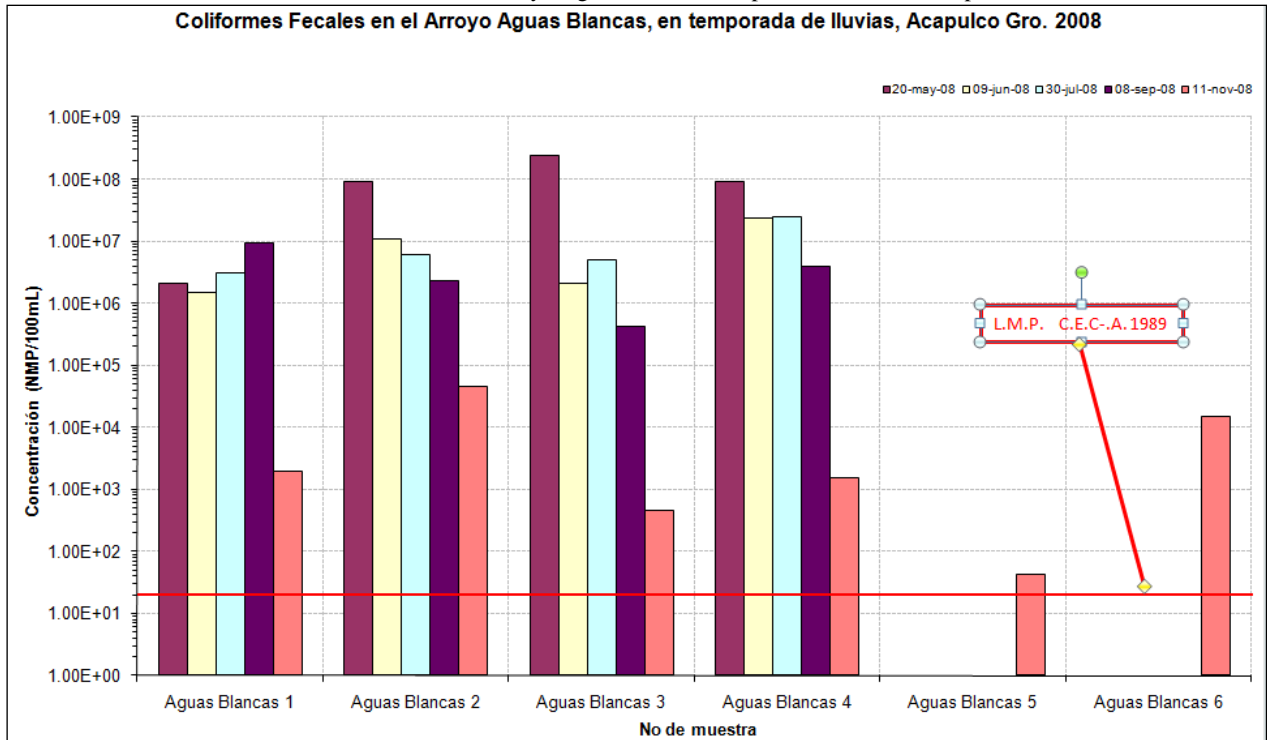
Se efectuaron 6 campañas de muestreo de los escurrimientos de los arroyos Aguas Blancas, El Camarón, La Garita y Costa Azul durante 6 eventos de precipitación; estos propiciaron el escurrimiento a través de estas subcuencas hasta su desembocadura en la bahía. Estos muestreos se llevaron a cabo, con una periodicidad de 15 minutos entre tomas de muestra, a partir de que comenzaba la precipitación y el caudal de arrastre fuera apreciado y hasta que el evento de precipitación cesara. Obteniendo en algunas ocasiones hasta 6 tomas por arroyo para un solo evento de lluvia.

Para efecto de representación gráfica, se tomó el valor de la media geométrica de las concentraciones de organismos patógenos (Coliformes fecales y Enterococos fecales) referenciados en las unidades de concentración NMP/100mL. Las muestras fueron tomadas en material previamente preparado (bolsas estériles de 300mL) y preservadas de acuerdo al procedimiento de prueba.

Tabla 26 Datos de calidad microbiológica del agua de las lluvias escurrimientos en los arroyos (Coliformes fecales).

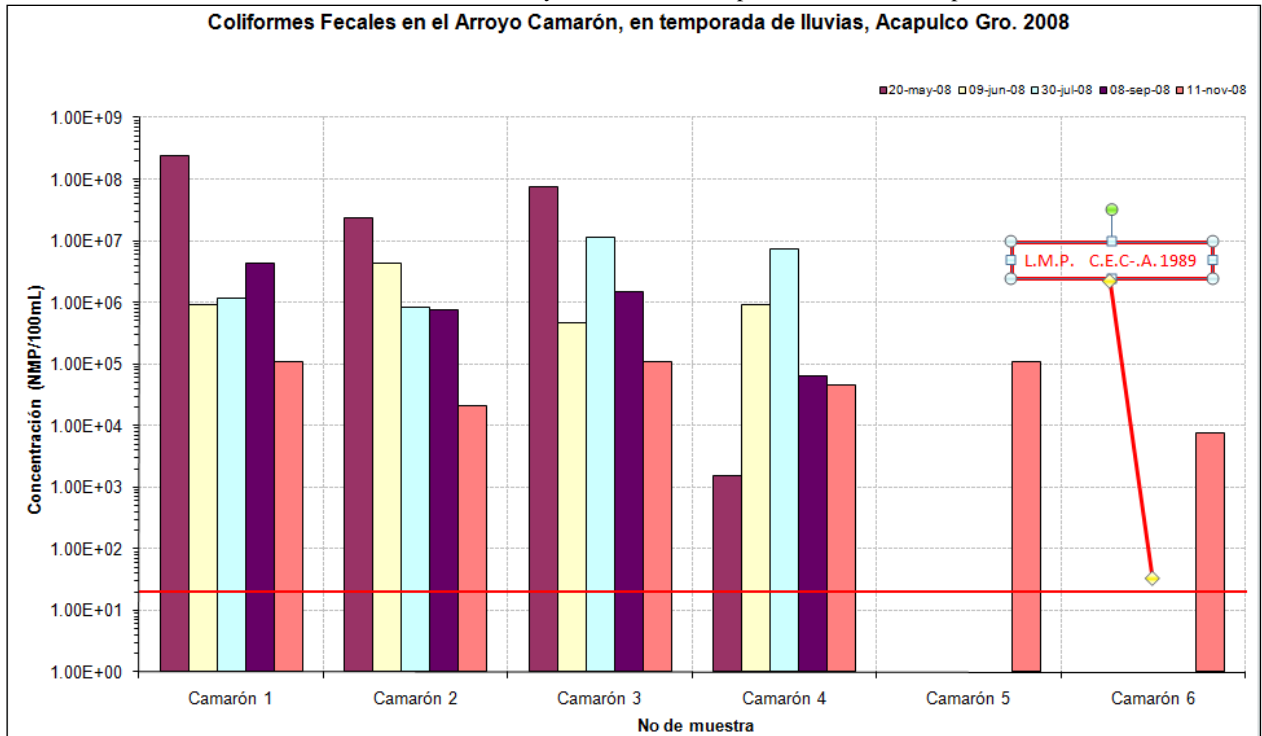
|                  | Coliformes Fecales (NMP/100mL) |                   |                   |                   |                   |                   |
|------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                  | 18-may-08                      | 20-may-08         | 09-jun-08         | 30-jul-08         | 08-sep-08         | 11-nov-08         |
| Aguas Blancas 1  | <i>Sin caudal</i>              | 2.10E+06          | 1.50E+06          | 3.04E+06          | 9.30E+06          | 2.00E+03          |
| Aguas Blancas 2  | <i>Sin caudal</i>              | 9.30E+07          | 1.10E+07          | 6.13E+06          | 2.30E+06          | 4.60E+04          |
| Aguas Blancas 3  | <i>Sin caudal</i>              | 2.40E+08          | 2.10E+06          | 4.88E+06          | 4.30E+05          | 4.60E+02          |
| Aguas Blancas 4  | <i>Sin caudal</i>              | 9.30E+07          | 2.40E+07          | 2.42E+07          | 3.90E+06          | 1.50E+03          |
| Aguas Blancas 5  | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 4.30E+01          |
| Aguas Blancas 6  | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 1.50E+04          |
| Media Geométrica | <i>Sin caudal</i>              | 4.57E+07          | 5.37E+06          | 6.85E+06          | 2.45E+06          | 1.86E+03          |
|                  |                                |                   |                   |                   |                   |                   |
| Camarón 1        | <i>Sin caudal</i>              | 2.40E+08          | 9.30E+05          | 1.18E+06          | 4.30E+06          | 1.10E+05          |
| Camarón 2        | <i>Sin caudal</i>              | 2.40E+07          | 4.30E+06          | 8.40E+05          | 7.50E+05          | 2.10E+04          |
| Camarón 3        | <i>Sin caudal</i>              | 7.50E+07          | 4.60E+05          | 1.12E+07          | 1.50E+06          | 1.10E+05          |
| Camarón 4        | <i>Sin caudal</i>              | 1.50E+03          | 9.30E+05          | 7.21E+06          | 6.40E+04          | 4.60E+04          |
| Camarón 5        | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 1.10E+05          |
| Camarón 6        | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 7.50E+03          |
| Media Geométrica | <i>Sin caudal</i>              | 5.05E+06          | 1.14E+06          | 2.99E+06          | 7.46E+05          | 4.61E+04          |
|                  |                                |                   |                   |                   |                   |                   |
| La Gárita 1      | 1.50E+06                       | 1.50E+03          | 1.10E+05          | 4.50E+05          | 2.00E+06          | 1.50E+02          |
| La Gárita 2      | <i>Sin caudal</i>              | 4.30E+02          | 2.00E+02          | 6.97E+05          | 2.30E+06          | 1.50E+04          |
| La Gárita 3      | <i>Sin caudal</i>              | 2.40E+03          | 7.50E+04          | 8.16E+05          | 2.30E+05          | 1.50E+04          |
| La Gárita 4      | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | 2.10E+03          | 5.28E+05          | 2.00E+05          | 4.30E+01          |
| La Gárita 5      | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 2.10E+04          |
| La Gárita 6      | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 7.50E+02          |
| Media Geométrica | 1.50E+06                       | 1.16E+03          | 7.67E+03          | 6.06E+05          | 6.78E+05          | 1.68E+03          |
|                  |                                |                   |                   |                   |                   |                   |
| Costa Azul 1     | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | 2.40E+03          | 3.10E+04          | 4.30E+05          | 1.50E+04          |
| Costa Azul 2     | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | 9.30E+02          | 1.98E+07          | 2.30E+05          | 1.10E+03          |
| Costa Azul 3     | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | 1.50E+04          | 1.12E+07          | 3.90E+04          | <i>Sin caudal</i> |
| Costa Azul 4     | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | 1.50E+02          | 3.65E+06          | 3.90E+04          | <i>Sin caudal</i> |
| Media Geométrica | <i>Sin caudal</i>              | <i>Sin caudal</i> | 1.50E+03          | 2.24E+06          | 1.11E+05          | 4.06E+03          |

Gráfica 20. Coliformes fecales en el arroyo Aguas Blancas, temporada de lluvias, Acapulco Gro 2008.



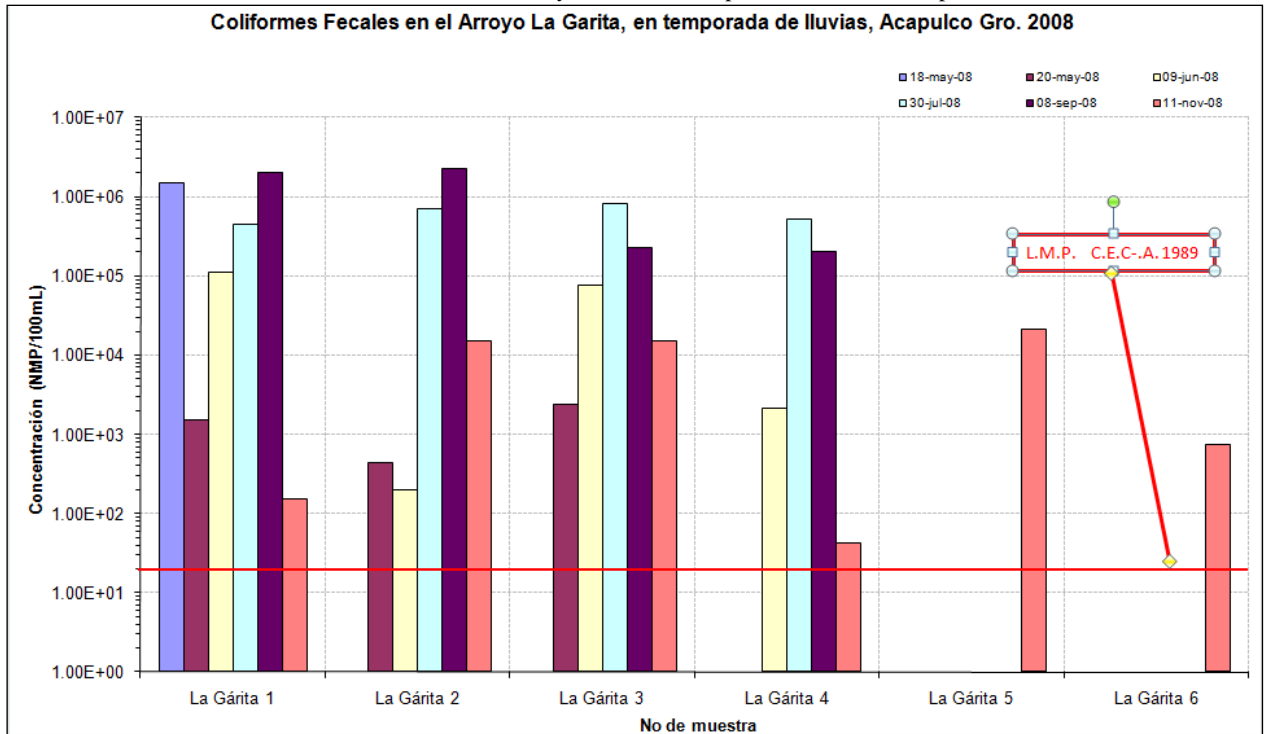
En la gráfica 21, podemos observar que el primer evento de lluvia, en el mes de Mayo de 2008, fue el que presentó la máxima concentración de coliformes fecales provenientes del arrastre en el arroyo Aguas Blancas; alcanzando concentraciones pico superiores a  $1.00 \cdot 10^8$ /100mL, esto pudo deberse al arrastre de material orgánico proveniente de la acumulación en la microcuenca y a medida que el temporal de lluvias avanzaba hacia el mes de Noviembre de 2008, se pudo observar cómo se lavaba el suelo de la cuenca y esto posiblemente provocó que se registran concentraciones mínimas de organismos coliformes fecales, aun siendo éstas superiores al límite máximo permitido por los CECA, 1989.

Gráfica 21. Coliformes fecales en el arroyo El Camarón, temporada de lluvias, Acapulco Gro 2008.



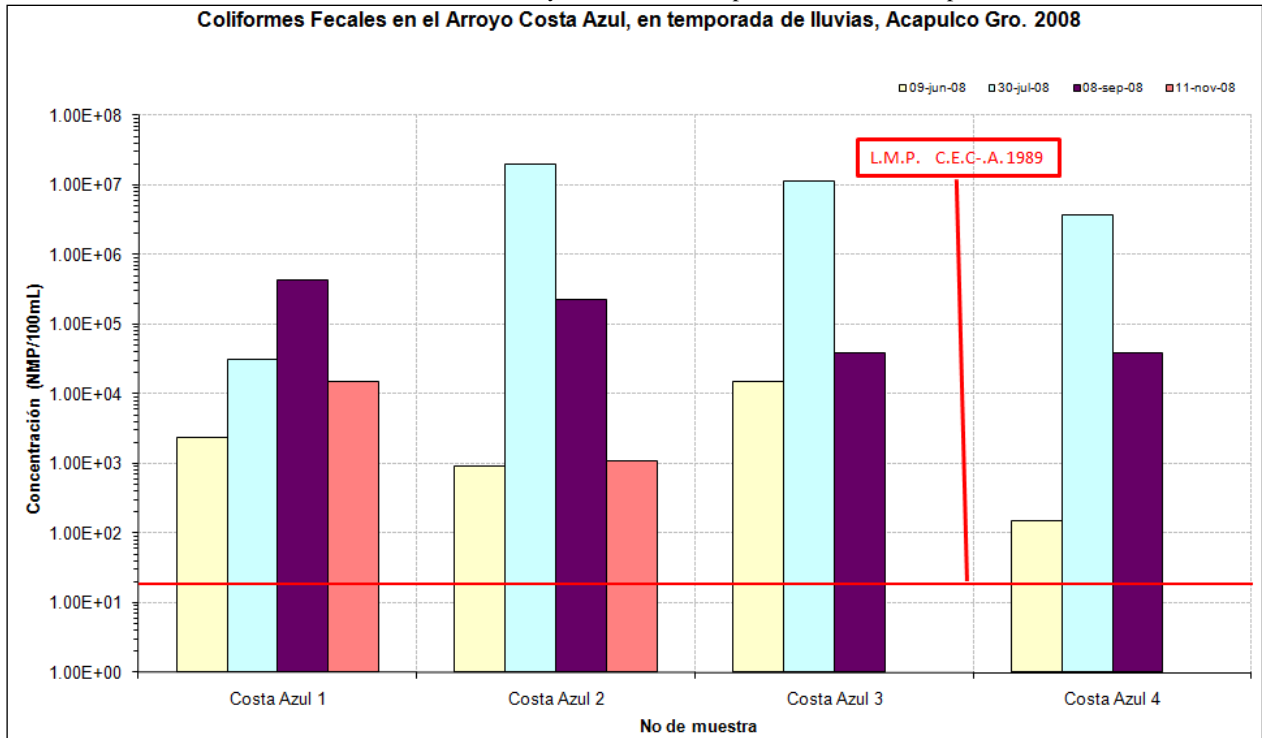
Para el arroyo El Camarón, durante los muestreos de calidad microbiológica del agua y en específico para el caso de los coliformes fecales, se puede observar la misma tendencia que marca el inicio del temporal de lluvias, en el cual, la cuenca de El Camarón se lava por escurrimiento y se alcanzan concentraciones máximas de coliformes fecales/100mL (gráfica 22), a medida que avanza el temporal de lluvias hacia el mes de noviembre, se observan concentraciones bajas, mismas que a pesar de ser las más bajas del periodo monzónico, aun se encuentran arrastrando fuertes concentraciones de coliformes fecales, provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas que llegan al cauce del arroyo y que son arrastradas por las lluvias hasta llegar a la bahía, dichas concentraciones rebasaron el límite máximo permitido por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, en el rubro de protección a la vida acuática.

Gráfica 22. Coliformes fecales en el arroyo La Garita, temporada de lluvias, Acapulco Gro 2008.



El arroyo La Garita, es la cuenca que se encontró descargando de forma permanente hacia la bahía, de igual forma que los demás arroyos, sigue el patrón de comportamiento que obedece al lavado de la microcuenca, siendo en el mes de septiembre de 2008 donde se aprecian las mayores concentraciones de coliformes fecales que llegan hasta  $2.30 \cdot 10^6/100\text{mL}$ , además de ser el mes de las máximas precipitaciones pluviales. Esta cuenca es a lo largo del periodo monzónico la que tiene más concentraciones por debajo del límite máximo permitido por los CECA 1989, ya que durante el último evento de muestreo, en la mitad de las muestras puntuales de los escurrimientos tuvieron concentraciones inferiores al límite, a diferencia de las dos cuencas anteriores, que a pesar del lavado durante todo el periodo registraron siempre concentraciones superiores al límite establecido.

Gráfica 23. Coliformes fecales en el arroyo Costa Azul, temporada de lluvias, Acapulco Gro 2008.



En la microcuenca del arroyo Costa Azul, se inició el monitoreo hasta el mes de Junio de 2008, debido a que no presentaba escurrimientos. Como se puede apreciar, la tendencia del lavado de la cuenca se da a lo largo del temporal de lluvias, alcanzando el máximo lavado de suelo y por ende el mayor arrastre de coliformes fecales provenientes de esta microcuenca a finales del mes de Julio de 2008, alcanzando concentraciones de hasta  $2.00 \times 10^7$  como máximo (gráfica 26), mientras que a medida que el temporal de lluvias avanza, las concentraciones disminuyen, sin embargo, esta descarga sigue por arriba del límite máximo permitido.

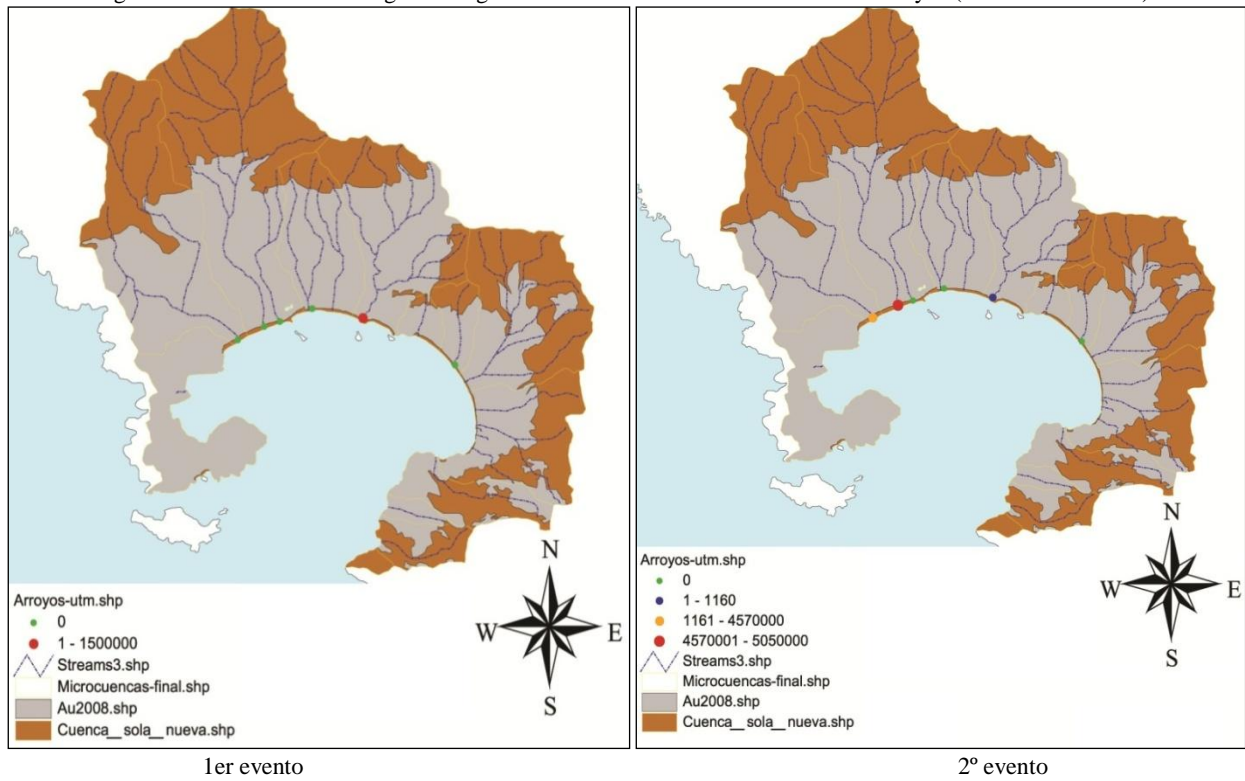
En la figura número 35, se pueden apreciar los resultados de los 6 eventos de muestreo para los 4 arroyos, en donde se monitoreó, el parámetro de coliformes fecales. En estos eventos de muestreo se aprecia que en el primer evento, solo el arroyo La Garita presentó escurrimiento que tuvo concentraciones iniciales de órdenes de magnitud de  $1 \times 10^6$  coliformes fecales/100mL, la cual es francamente de origen residual urbano. En el segundo evento, se presentó escurrimiento en las cuencas Aguas Blancas, El Camarón y La Garita siendo el arroyo Aguas Blancas el que alcanzó la máxima concentración de  $4.57 \times 10^7$ , mientras que la que presentó la menor concentración fue La Garita, con  $1.16 \times 10^3$ .

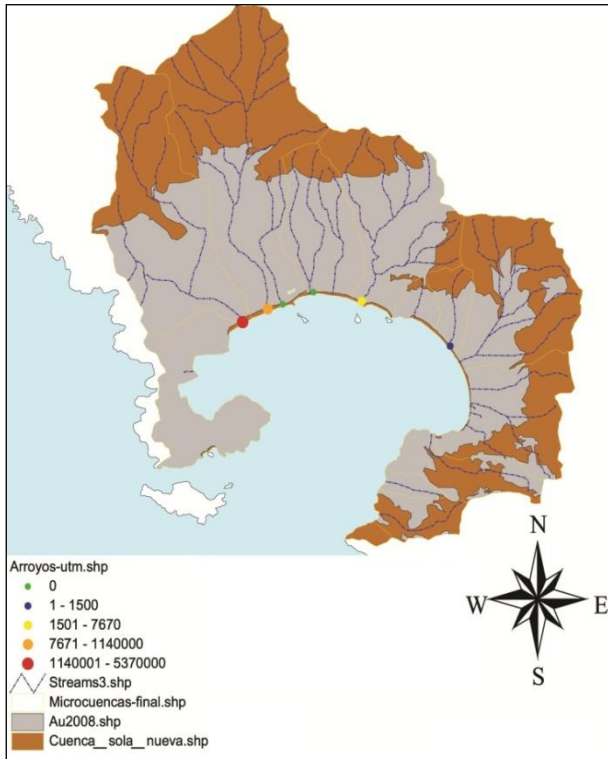
Ya para el tercer muestreo de los arroyos en temporada de lluvia, los cuatro arroyos, presentaron flujo hacia la zona costera y nuevamente el arroyo Aguas Blancas, con una concentración de  $5.37 \times 10^6$ , mientras que el arroyo Costa Azul fue quien tuvo la más baja con  $1.50 \times 10^3$ . Durante el cuarto muestreo el arroyo Aguas Blancas presentó una concentración de  $6.85 \times 10^6$ , siendo la mayor de los cuatro arroyos, en este caso La Garita tuvo la menor concentración, la cual es de  $6.05 \times 10^5$ . El quinto muestreo, tuvo una concentración máxima de  $2.45 \times 10^6$  en el arroyo Aguas Blancas y una mínima de  $1.11 \times 10^5$  en Costa Azul. Finalmente para

el último muestreo en noviembre, la concentración máxima de  $4.61 \cdot 10^4$  se encontró en el arroyo El Camarón y la mínima de  $1.68 \cdot 10^3$  en La Garita.

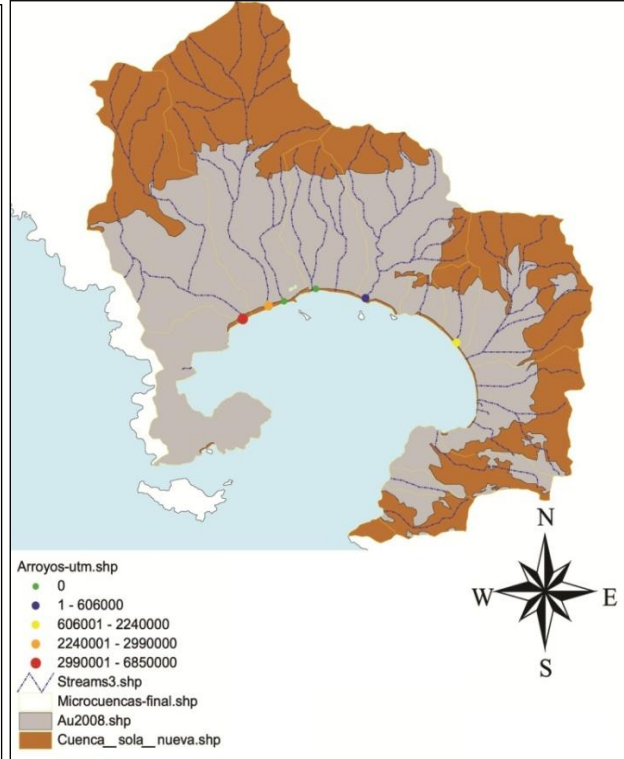
Para el caso de las cuatro microcuencas, a través de los seis eventos, se puede ver que existe un lavado de las mismas a lo largo del periodo de lluvias, por lo que al inicio se encuentran las mayores concentraciones de todas y se puede observar que todas las muestras sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 coliformes fecales, expresados como NMP/100mL, para descarga de aguas residuales a cuerpos receptores. De igual forma, se puede ver que en su mayoría, el arroyo de Aguas Blancas, es el que aporta la mayor cantidad de organismos coliformes fecales a lo largo del periodo de lluvia en la zona de estudio.

Figura 35. Calidad microbiológica del agua de las lluvias – escurrimientos en los arroyos (Coliformes fecales).

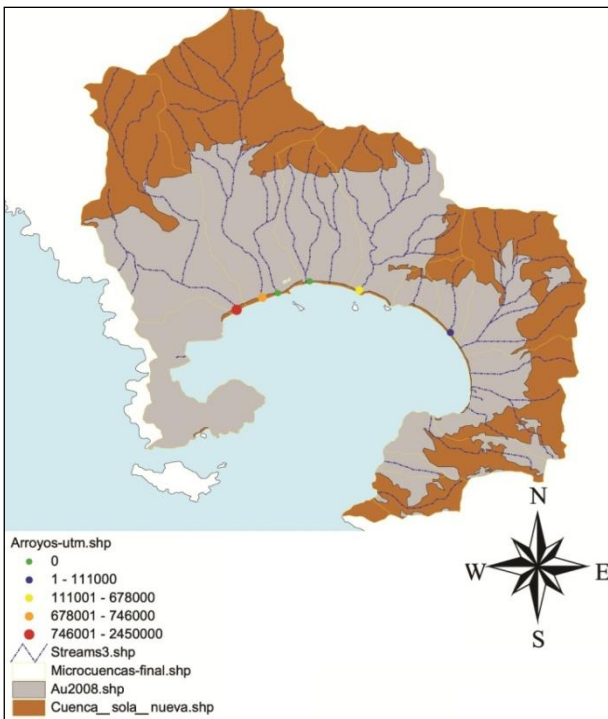




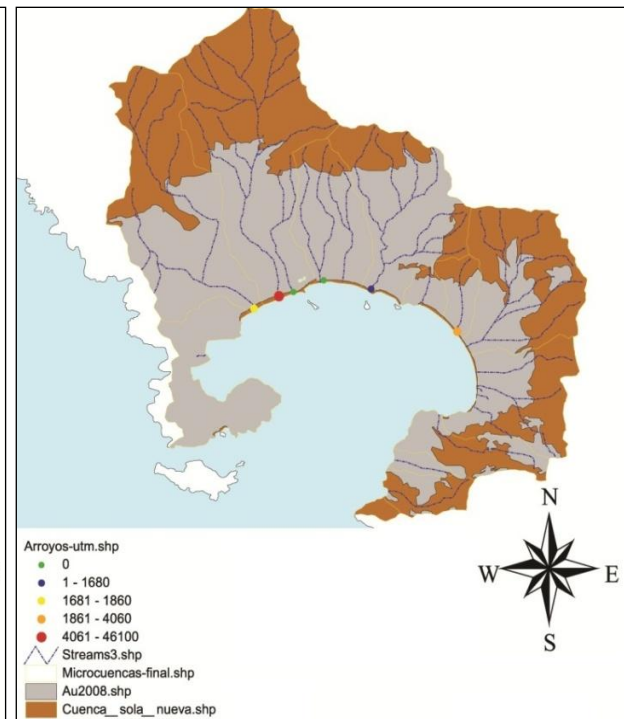
3er evento



4º evento



5o evento



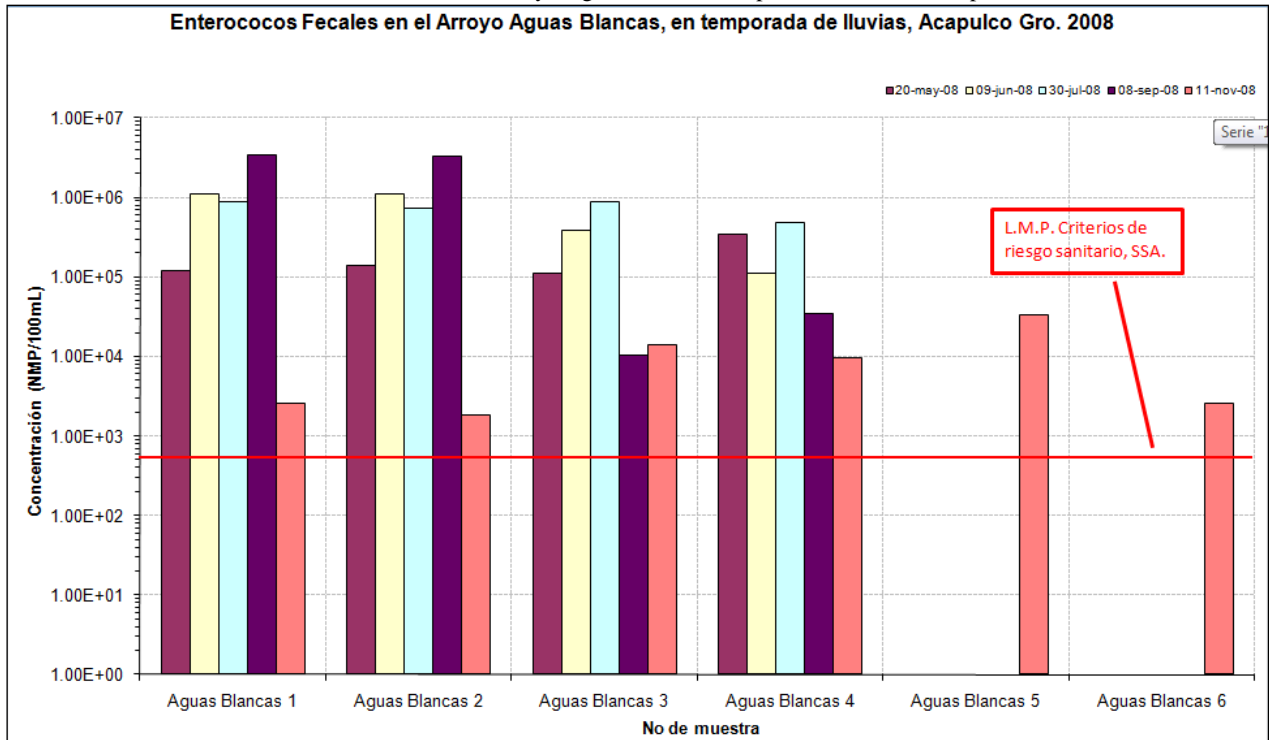
6º evento



Tabla 27 Datos de calidad microbiológica del agua de las lluvias escurrimientos en los arroyos (Enterococos fecales).

|                        | Enterococos Fecales (NMP/100mL) |                   |                   |                   |                   |                   |
|------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                        | 18-may-08                       | 20-may-08         | 09-jun-08         | 30-jul-08         | 08-sep-08         | 11-nov-08         |
| <b>Aguas Blancas 1</b> | <i>Sin caudal</i>               | 1.21E+05          | 1.10E+06          | 8.66E+05          | 3.44E+06          | 2.60E+03          |
| <b>Aguas Blancas 2</b> | <i>Sin caudal</i>               | 1.39E+05          | 1.10E+06          | 7.27E+05          | 3.28E+06          | 1.84E+03          |
| <b>Aguas Blancas 3</b> | <i>Sin caudal</i>               | 1.13E+05          | 3.90E+05          | 8.66E+05          | 1.05E+04          | 1.41E+04          |
| <b>Aguas Blancas 4</b> | <i>Sin caudal</i>               | 3.40E+05          | 1.09E+05          | 4.78E+05          | 3.52E+04          | 9.55E+03          |
| <b>Aguas Blancas 5</b> | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 3.28E+04          |
| <b>Aguas Blancas 6</b> | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 2.59E+03          |
| Media Geométrica       | <i>Sin caudal</i>               | 1.59E+05          | 4.76E+05          | 7.14E+05          | 2.54E+05          | 6.16E+03          |
|                        |                                 |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>Camarón 1</b>       | <i>Sin caudal</i>               | 9.80E+05          | 8.40E+04          | 2.60E+05          | 1.98E+05          | 1.41E+05          |
| <b>Camarón 2</b>       | <i>Sin caudal</i>               | 1.73E+06          | 5.30E+04          | 1.78E+05          | 1.03E+04          | 2.31E+03          |
| <b>Camarón 3</b>       | <i>Sin caudal</i>               | 9.20E+05          | 3.40E+04          | 1.10E+05          | 1.55E+04          | 6.00E+04          |
| <b>Camarón 4</b>       | <i>Sin caudal</i>               | 9.20E+05          | 1.60E+04          | 1.84E+05          | 1.72E+06          | 1.31E+03          |
| <b>Camarón 5</b>       | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 3.96E+04          |
| <b>Camarón 6</b>       | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 9.32E+02          |
| Media Geométrica       | <i>Sin caudal</i>               | 1.09E+06          | 3.94E+04          | 1.75E+05          | 8.59E+04          | 9.91E+03          |
|                        |                                 |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>La Gárita 1</b>     | 1.01E+05                        | 2.09E+05          | 1.41E+06          | 1.12E+06          | 2.72E+06          | 2.75E+04          |
| <b>La Gárita 2</b>     | <i>Sin caudal</i>               | 2.24E+05          | 1.20E+06          | 1.41E+06          | 2.59E+06          | 9.20E+03          |
| <b>La Gárita 3</b>     | <i>Sin caudal</i>               | 9.20E+05          | 4.03E+05          | 1.29E+06          | 1.35E+06          | 2.31E+04          |
| <b>La Gárita 4</b>     | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | 1.30E+06          | 1.12E+06          | 1.58E+06          | 4.10E+03          |
| <b>La Gárita 5</b>     | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 8.45E+02          |
| <b>La Gárita 6</b>     | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | <i>Sin caudal</i> | 2.03E+03          |
| Media Geométrica       | 1.01E+05                        | 3.51E+05          | 9.70E+05          | 1.23E+06          | 1.97E+06          | 5.87E+03          |
|                        |                                 |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>Costa Azul 1</b>    | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | 2.38E+05          | <1                | 2.10E+06          | 1.21E+03          |
| <b>Costa Azul 2</b>    | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | 3.45E+05          | 5.71E+04          | 1.99E+06          | 1.30E+03          |
| <b>Costa Azul 3</b>    | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | 6.13E+05          | 3.60E+05          | 2.72E+06          | <i>Sin caudal</i> |
| <b>Costa Azul 4</b>    | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | 1.39E+05          | 2.72E+05          | 3.61E+06          | <i>Sin caudal</i> |
| Media Geométrica       | <i>Sin caudal</i>               | <i>Sin caudal</i> | 2.89E+05          | 1.77E+05          | 2.53E+06          | 1.25E+03          |

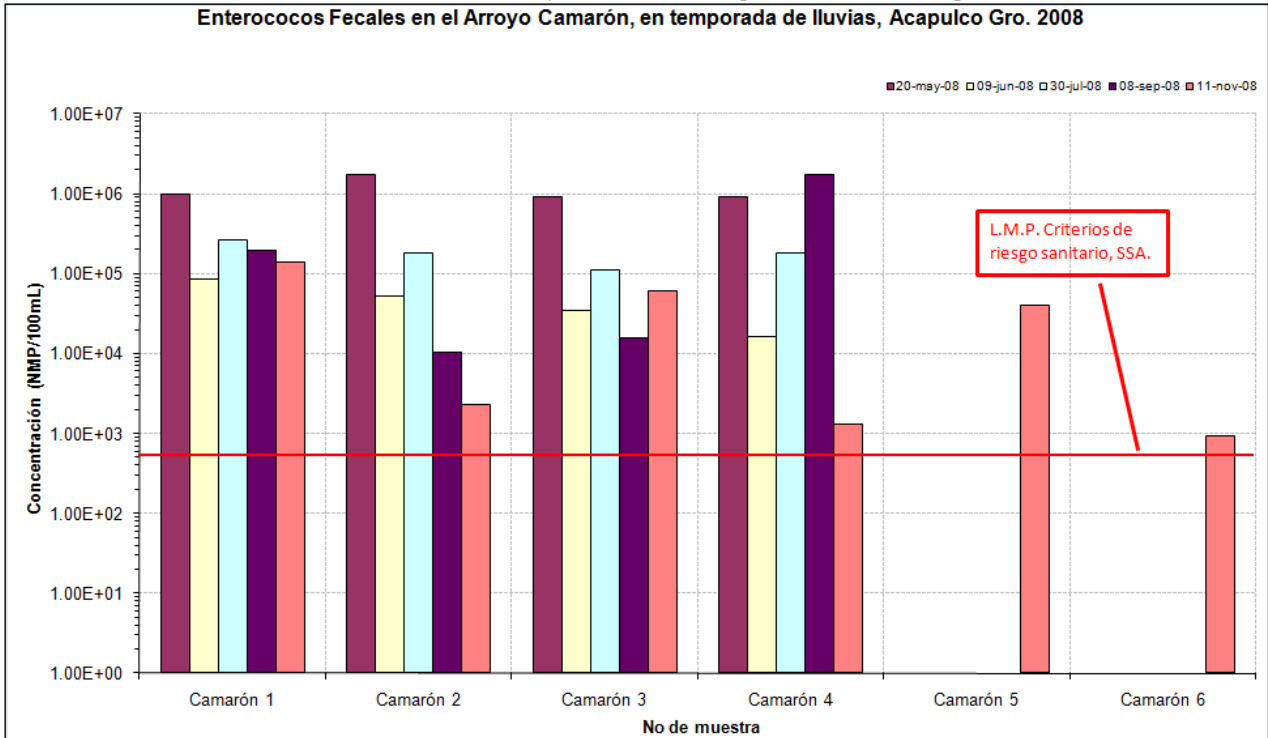
Gráfica 24. Enterococos fecales en el arroyo Aguas Blancas, temporada de lluvias, Acapulco Gro 2008.



De acuerdo con lo antes mencionado, la calidad microbiológica del agua para este proyecto, estuvo dividida en dos parámetros, los Coliformes fecales y los Enterococos fecales, de acuerdo con trabajos realizados se ha demostrado que para este tipo de aguas costeras en las cuales existe el uso recreativo con contacto primario, a través de relaciones cuantitativas entre el riesgo de enfermedad y el nivel de este organismo indicador, este último es un mejor indicador de la calidad del agua.

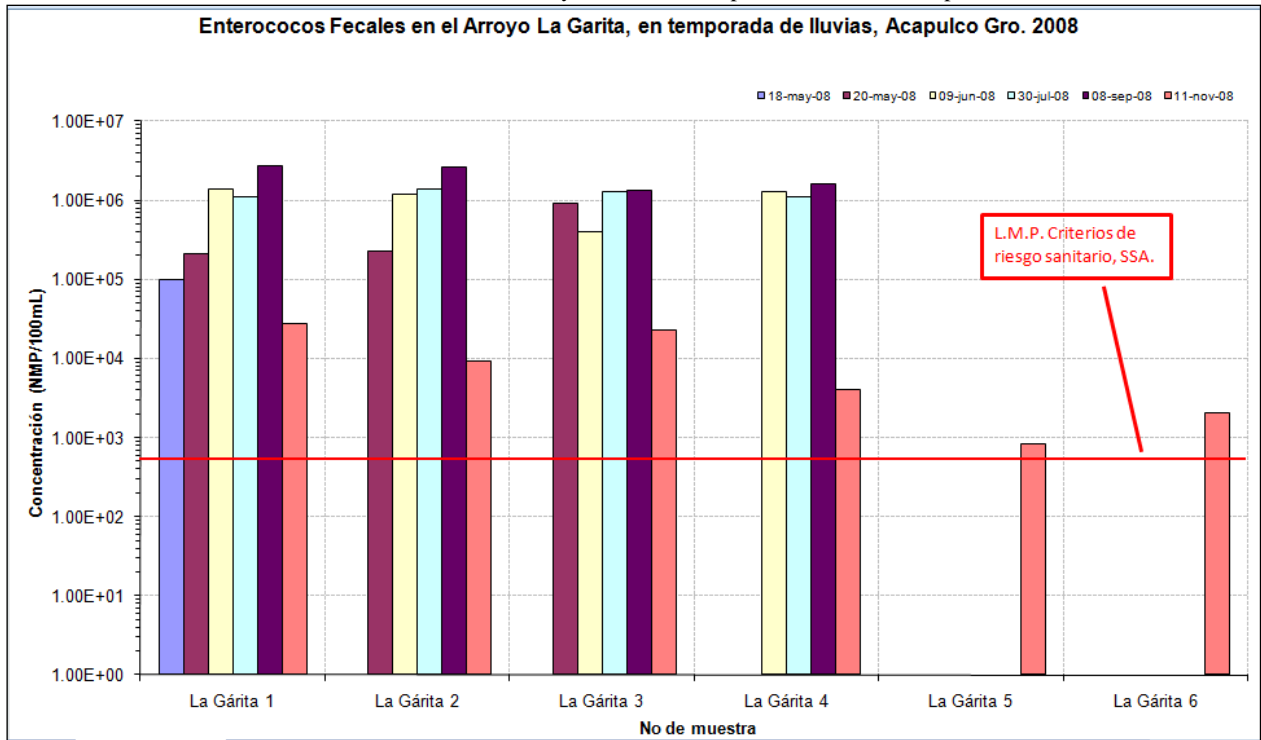
En la Tabla 27, se observan los resultados analíticos de las concentraciones de Enterococos fecales en los 6 eventos de muestreo de los arroyos durante temporada de lluvias. En la gráfica 25, se puede observar que la concentración de este indicador microbiológico de calidad del agua, tiende a aumentar ligeramente conforme avanza el temporal, para llegar a sus máximos en el mes de Septiembre de 2008, el cual tiene mayor precipitación y en donde el arrastre y lavado de la microcuenca, para llegar a los puntos mínimos en el mes de Noviembre, en donde a pesar de esto aún sobrepasan la reglamentación existente en México, para Enterococos fecales en playas en el rubro uso recreativo y de contacto primario.

Gráfica 25. Enterococos fecales en el arroyo El Camarón, temporada de lluvias, Acapulco Gro 2008.



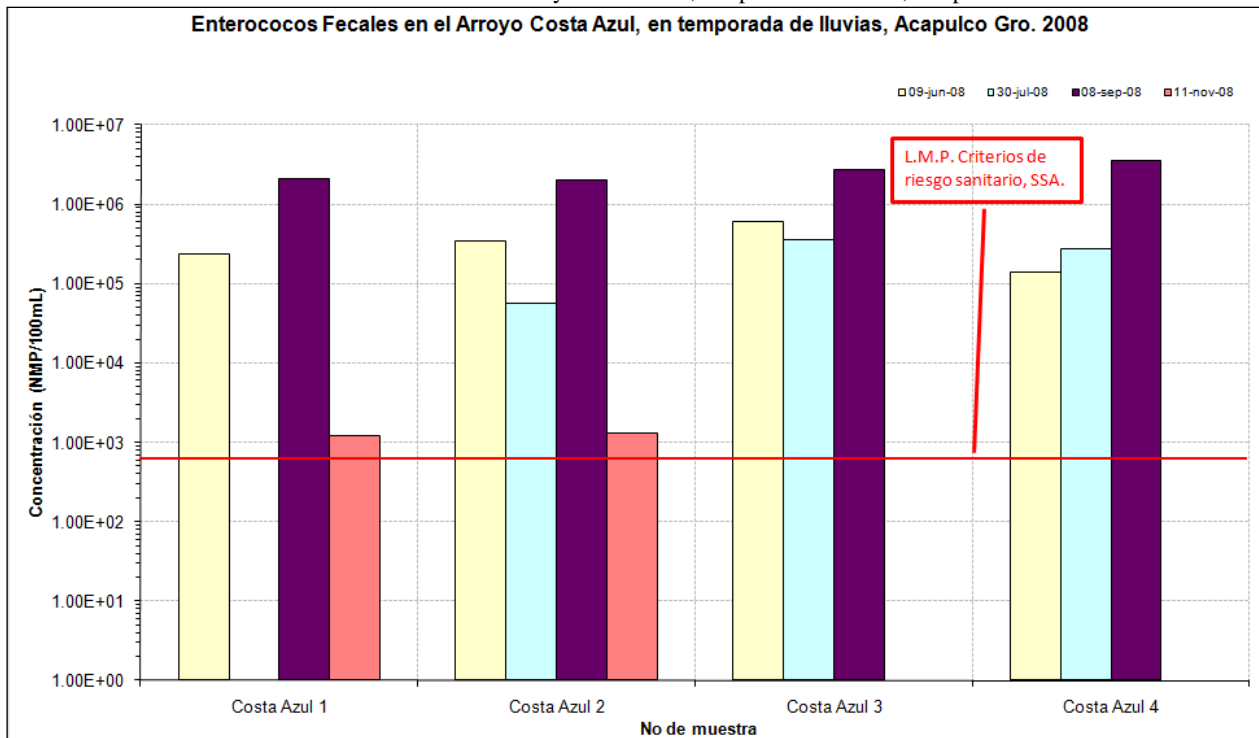
Nuevamente, para el caso de la microcuenca El Camarón, podemos observar que las concentraciones de Enterococos fecales, al inicio de la temporada de lluvias, es la que presenta mayores concentraciones alcanzando valores del orden de  $1.00 \cdot 10^6$  y disminuye conforme el temporal de lluvias avanza hacia el mes de Noviembre de 2008 cuando se registran las concentraciones mínimas, que casi alcanzan valores del orden de  $1.00 \cdot 10^3$ , siendo todavía superiores al límite establecido como riesgo sanitario, el cual es de 500 Enterococos fecales expresados como NMP/100mL. Cabe mencionar, que el muestreo del mes de Noviembre fue el único evento en el cual, se tomaron 6 muestras puntuales debido a la duración del evento de lluvia.

Gráfica 26. Enterococos fecales en el arroyo La Garita, temporada de lluvias, Acapulco Gro 2008.



En la microcuenca de La Garita, se repite nuevamente el comportamiento de lavado por acción de los eventos de lluvia en donde las máximas concentraciones de estos organismos se encuentran en el mes de Septiembre, en donde se alcanzan concentraciones superiores a un orden de  $1.00 \cdot 10^6$ , y disminuyen para el último de los eventos de muestreo en el mes de Noviembre, en donde se registran las concentraciones más bajas, sin embargo, éstas, amén de que son las más bajas, nuevamente superan el límite máximo permitido.

Gráfica 27. Enterococos fecales en el arroyo Costa Azul, temporada de lluvias, Acapulco Gro 2008.



En el caso de los escurrimientos del arroyo Costa Azul, no en todos los eventos de lluvia se pudieron coleccionar muestras durante la temporada, ya que esta microcuenca no presentó escurrimiento. Es por esto, que solo se presentan 4 eventos, que van de los meses de Julio a Noviembre de 2008.

En el gráfico 27, se puede observar que las concentraciones de este parámetro de calidad microbiológica del agua del arroyo, tiene un incremento en el mes de Septiembre, siendo este aumento a partir del mes de Julio. Esto coincide con el comportamiento de los demás arroyos en donde por la acción de las precipitaciones y escurrimiento de las microcuencas, existe un lavado y arrastre de material orgánico proveniente de las descargas clandestinas de las zonas que conforman el anfiteatro de la ciudad de Acapulco, en donde existe una gran deficiencia de los sistemas de colección y tratamiento de aguas residuales y por ende, estas aguas son conducidas a los arroyos por acción de las lluvias.

Nuevamente podemos ver que las concentraciones mínimas registradas de estos eventos de muestreo de calidad microbiológica en el mes de Noviembre coinciden con el fin del periodo de lluvias, pero además de esto y del lavado de la microcuenca, las concentraciones registradas aun sobrepasan el límite máximo permitido, para protección de la salud por contacto primario.

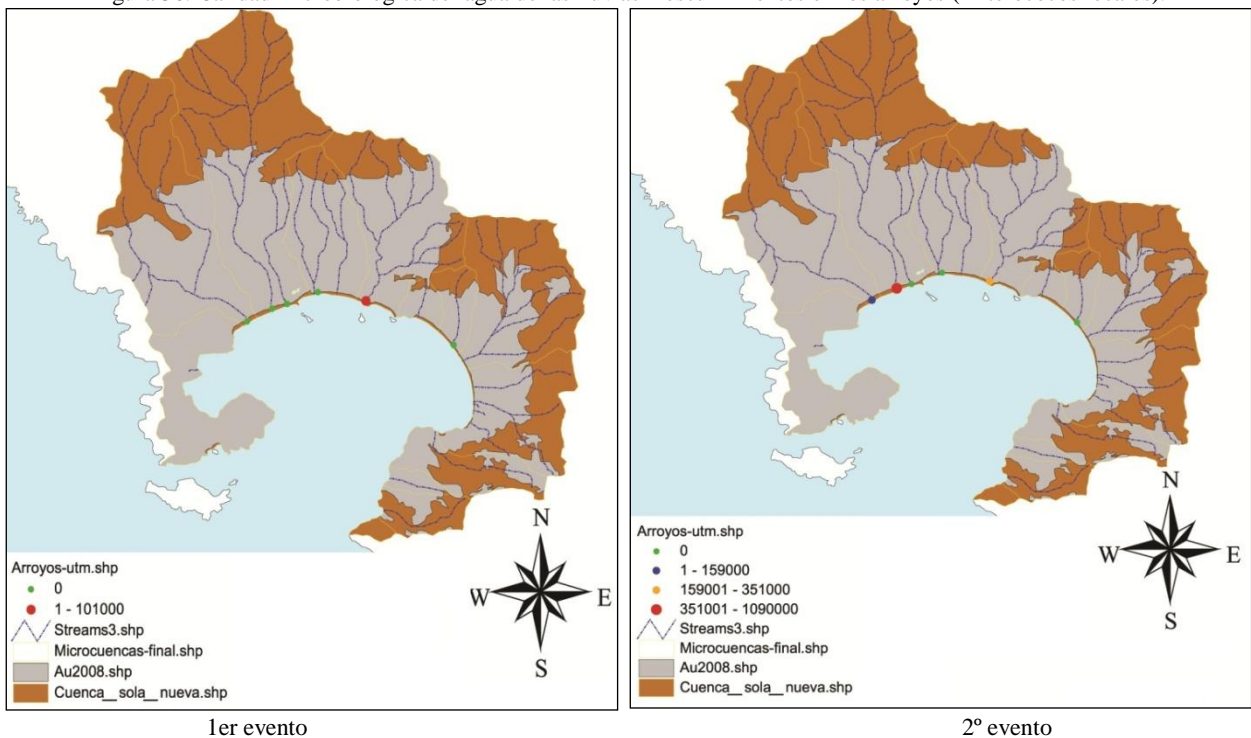
En la figura siguiente número, se pueden apreciar los resultados de los 6 eventos de muestreo para los 4 arroyos, en donde se monitoreó, el parámetro de Enterococos fecales. Al igual que en el caso de los coliformes fecales, en el primer muestreo solo se tuvo muestra proveniente del escurrimiento del arroyo La Garita con una concentración de  $1.01 \cdot 10^5$ . Para el segundo muestreo la máxima concentración de los tres arroyos que presentaron escurrimiento fue El Camarón, que alcanzó  $1.09 \cdot 10^6$ , mientras que Aguas Blancas presentó una concentración

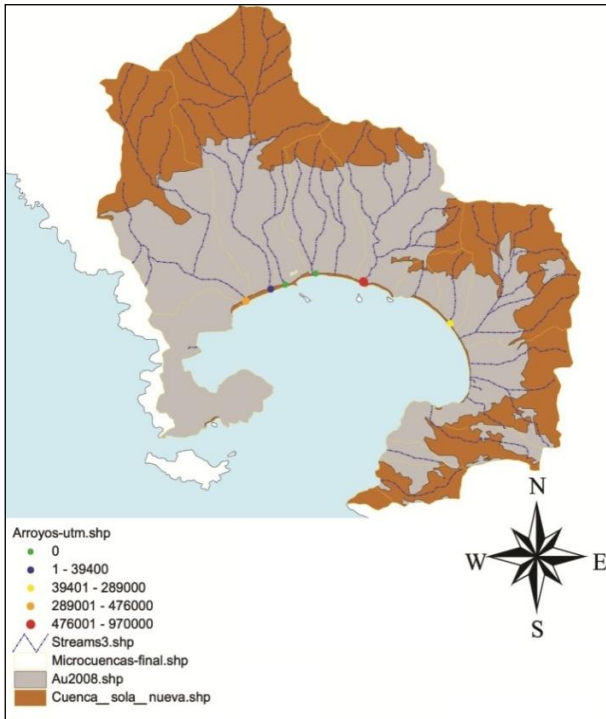
de  $1.59 \cdot 10^5$ . Ya para el tercer evento si existió escurrimiento de los cuatro arroyos, en ese caso, La Garita tuvo la máxima concentración, con  $9.70 \cdot 10^5$ , mientras que El Camarón tuvo la mínima con  $3.94 \cdot 10^4$ .

Durante el cuarto evento, nuevamente La Garita tuvo la máxima concentración, con  $1.23 \cdot 10^6$  y El Camarón la mínima con  $1.75 \cdot 10^5$ . En el quinto evento el arroyo Costa Azul tuvo la máxima concentración con  $2.53 \cdot 10^6$ , mientras que El camarón presentó la mínima con  $8.59 \cdot 10^4$ . Finalmente para el último evento en Noviembre, el arroyo El Camarón tuvo la máxima concentración con  $9.91 \cdot 10^3$ , mientras que el Costa Azul tiene la menor con  $1.25 \cdot 10^3$ .

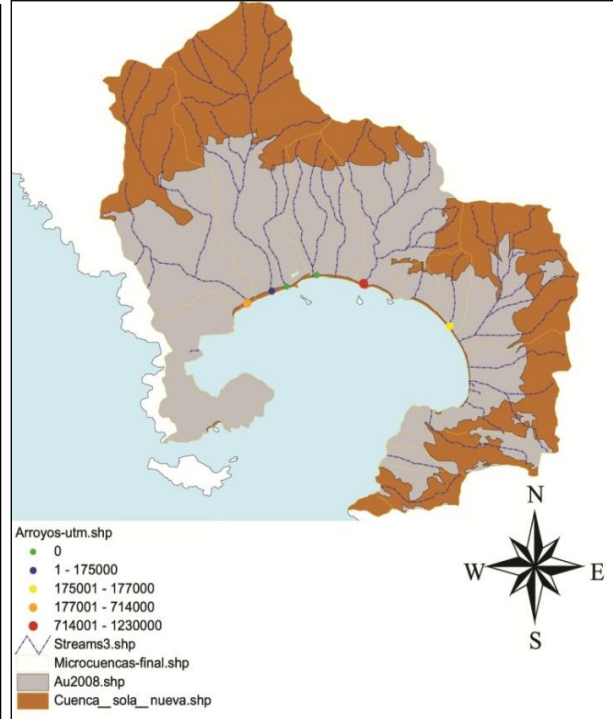
Todas estas concentraciones determinadas en los eventos de lluvia, presentan concentraciones por arriba del límite de 500 Enterococos fecales, expresados como NMP/100mL y representan un riesgo sanitario para los bañistas que se encuentran en las inmediaciones de la zona de desembocadura de los arroyos en la zona costera. En este caso, el arroyo que presenta las concentraciones más altas de este organismo es la de El Camarón. Al igual que con los Coliformes, se parecía la disminución de las concentraciones del inicio de la temporada de lluvias y hacia el final de año, por lavado de las cuencas que arrastran material orgánico de origen fecal.

Figura 36. Calidad microbiológica del agua de las lluvias – escurrimientos en los arroyos (Enterococos fecales).

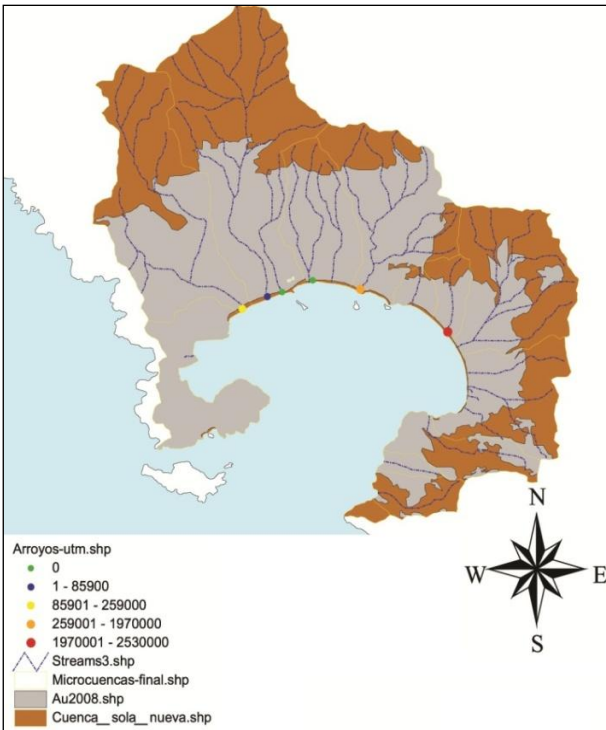




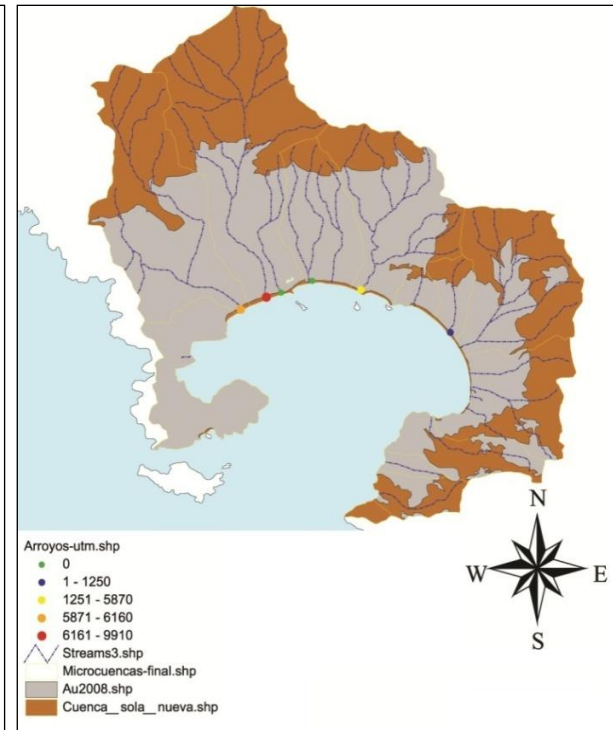
3er evento



4º evento



5o evento



6º evento

## 7.12 Análisis de resultados de nutrientes y microbiológicos en playas

De los dos muestreos (Marzo y Julio), se pudieron llevar a cabo los registros de los parámetros de campo en las 11 estaciones de playa que se mencionan en la tabla 28, junto con los datos de ambos muestreos de los parámetros de campo y los respectivos resultados analíticos de los parámetros microbiológicos.

Tabla 28 Datos de calidad del agua del primer y segundo muestreo en campo en las estaciones de playa.

| Sitio         | Temperatura °C |            | pH         |            | OD (ppm)   |            | C.E. µS/cm |            |
|---------------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|               | marzo 2008     | julio 2008 | marzo 2008 | julio 2008 | marzo 2008 | julio 2008 | marzo 2008 | julio 2008 |
| Caletilla     | 25.51          | 30.20      | 8.04       | 8.09       | 6.26       | 5.80       | 56420.00   | 48150.00   |
| Caleta        | 25.68          | 30.06      | 8.30       | 8.09       | 6.08       | 5.73       | 56200.00   | 48904.29   |
| Aguas Blancas | 26.52          | 30.81      | 8.12       | 8.11       | 9.27       | 6.20       | 55820.00   | 47194.71   |
| El Camarón    | 26.82          | 31.24      | 8.12       | 8.13       | 7.72       | 6.29       | 56380.00   | 48123.20   |
| Michoacán     | 26.95          | 31.15      | 8.21       | 8.16       | 7.27       | 6.13       | 56470.00   | 46876.56   |
| Papagayo      | 27.04          | NR         | 8.36       | NR         | 7.93       | NR         | 56150.00   | NR         |
| La Diana      | 26.70          | 31.00      | 8.12       | 8.05       | 6.94       | 6.40       | 55280.00   | 44657.58   |
| Condesa       | 26.22          | 30.87      | 8.18       | 8.06       | 6.93       | 6.17       | 56170.00   | 46184.11   |
| Copacabana    | 26.27          | 31.05      | 8.15       | 8.09       | 8.19       | 6.36       | 55990.00   | 41470.77   |
| Hyatt         | 27.68          | 31.49      | 8.27       | 8.06       | 7.87       | 6.13       | 55970.00   | 45515.14   |
| Roqueta       | 25.70          | 30.40      | 8.04       | 8.17       | 6.78       | 6.16       | 56850.00   | 48975.45   |

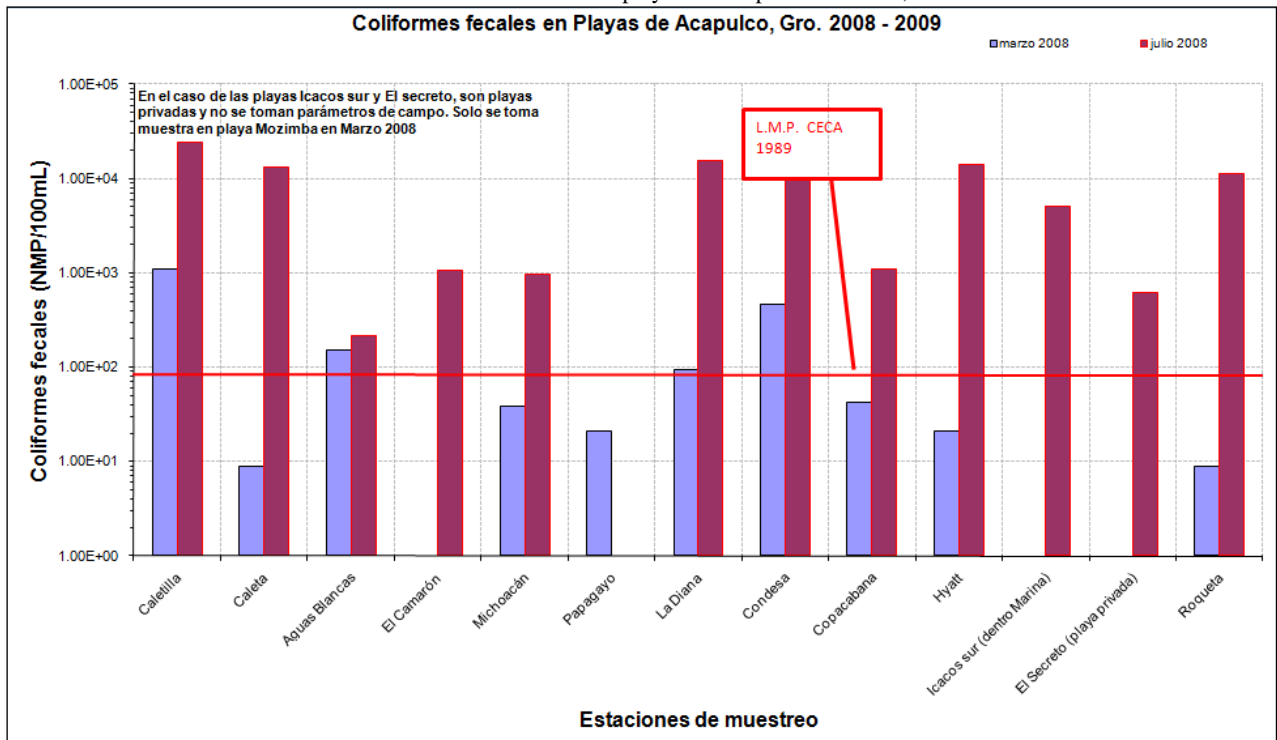
| Sitio         | TDS ppm    |            | Salinidad (ppt) |            | Coliformes Fecales (NMP/100ml) |            | Enterococos (NMP/100ml) |            |
|---------------|------------|------------|-----------------|------------|--------------------------------|------------|-------------------------|------------|
|               | marzo 2008 | julio 2008 | marzo 2008      | julio 2008 | marzo 2008                     | julio 2008 | marzo 2008              | julio 2008 |
| Caletilla     | 28210.00   | 24075.16   | 37.49           | 31.22      | 1.10E+03                       | 2.42E+04   | 3.00E+01                | 8.00E+01   |
| Caleta        | 28100.00   | 24451.71   | 37.33           | 31.78      | 9.00E+00                       | 1.30E+04   | 2.00E+01                | 3.00E+01   |
| Aguas Blancas | 27910.00   | 23597.38   | 37.02           | 30.57      | 1.50E+02                       | 2.16E+02   | 3.87E+03                | <1         |
| El Camarón    | 28190.00   | 24062.00   | 37.42           | 31.17      | <3                             | 1.07E+03   | <1                      | 1.00E+01   |
| Michoacán     | 28240.00   | 23438.13   | 37.49           | 30.30      | 3.90E+01                       | 9.60E+02   | 1.00E+01                | 1.22E+03   |
| Papagayo      | 28080.00   | NR         | 37.24           | NR         | 2.10E+01                       | NR         | 9.60E+01                | NR         |
| La Diana      | 27640.00   | 22328.48   | 36.60           | 28.67      | 9.30E+01                       | 1.55E+04   | 7.40E+01                | 1.55E+05   |
| Condesa       | 28080.00   | 23090.97   | 37.28           | 29.95      | 4.60E+02                       | 1.01E+04   | 8.50E+01                | <1         |
| Copacabana    | 28000.00   | 21960.83   | 37.15           | 28.21      | 4.30E+01                       | 1.09E+03   | <1                      | <1         |
| Hyatt         | 27990.00   | 22757.60   | 37.08           | 29.32      | 2.10E+01                       | 1.41E+04   | 1.09E+02                | 4.00E+01   |
| Roqueta       | 28420.00   | 24487.88   | 37.81           | 31.82      | 9.00E+00                       | 1.12E+04   | <1                      | 6.00E+01   |

De la tabla anterior, podemos apreciar que en todas las estaciones de muestreo en playa, se presenta un incremento en la temperatura del agua, que va aproximadamente de los 25 a los 30 grados Celsius casi de manera homogénea. En el caso del pH no se aprecia una alteración en este parámetro fisicoquímico, manteniéndose ligeramente alcalino en un rango que se encuentra entre 8.04 y 8.36 unidades de pH. Para el caso del oxígeno disuelto, todas las estaciones presentan concentraciones por arriba de los 6.13mg/L y hasta los 9.27mg/L como máximo, estos valores se relacionan con el oleaje en la zona de rompimiento en donde se tomaron las muestras y los parámetros de campo, que fue aproximadamente a una profundidad media de un metro. Como resultado del cambio en las corrientes debido a la estacionalidad de las mismas, se pueden observar ligeros cambios en la quimioclima del agua de la bahía propiciado una ligera disminución de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad.



Por otra parte, en el caso de los parámetros microbiológicos como los coliformes fecales se puede apreciar que en la totalidad de las estaciones de playa, hay un incremento en cuanto a la concentración de este parámetro, el cual tiene sus concentraciones mínimas en el mes de Marzo, previo a un periodo de afluencia turística internacional al puerto, estas concentraciones encontradas en las playas de El Camarón, Roqueta y Caleta, mientras que las máximas se encuentran en el mes de Julio, que coincide con el periodo de máxima afluencia turística al puerto debido al periodo vacacional y alcanza concentraciones máximas en las playas de Caleta, La Diana, Hyatt y Caletilla, las cuales alcanzan valores de hasta  $2.42 \cdot 10^4$  Coliformes fecales NMP/100mL.

Gráfica 28. Coliformes fecales en playas de Acapulco Guerrero, 2008.

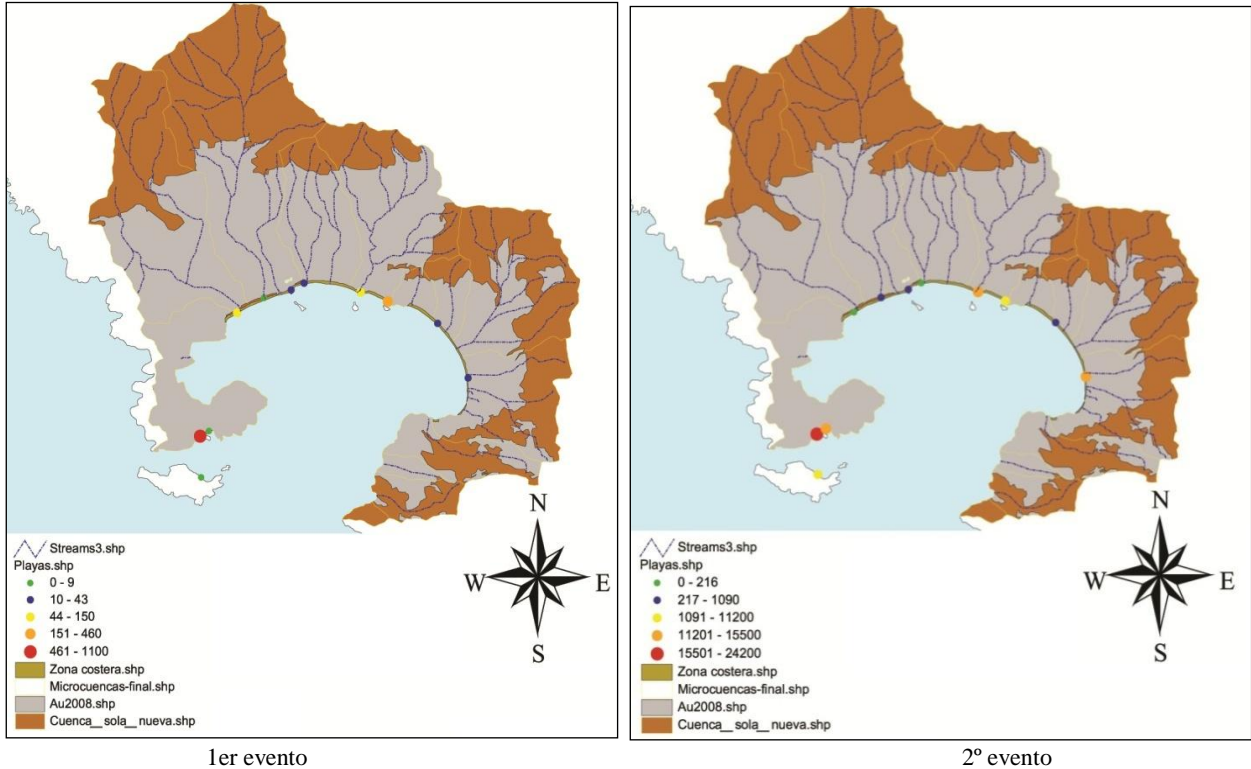


Para el caso de las playas, las cuales son uno de los principales atractivos turísticos del puerto, reciben la carga proveniente de los escurrimientos de los arroyos, además de recibir directamente el aporte de las aguas de servicios, asentados en las mismas playas y que no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales o en el mejor de los casos es deficiente, por lo que reciben de forma más directa alteraciones en cuanto a su calidad microbiológica. En el mes de Marzo de 2008, la mayoría de las playas, presentaron concentraciones que se encuentran por debajo del límite establecido en la normatividad vigente.

En el mes de Julio de 2008, se observó que las playas La Angosta, Caleta, Caletilla, La Roqueta, El Camarón, La Diana, la Condesa, Hyatt e Icacos y Playa Olvidada, rebasan el límite de 200 coliformes fecales /100mL. Esta última alcanzó concentraciones cercanas al orden de  $1.00 \cdot 10^5$ . Cabe mencionar que en este mes del año es el inicio del temporal de lluvias, así como el inicio de la temporada de vacacional de verano.

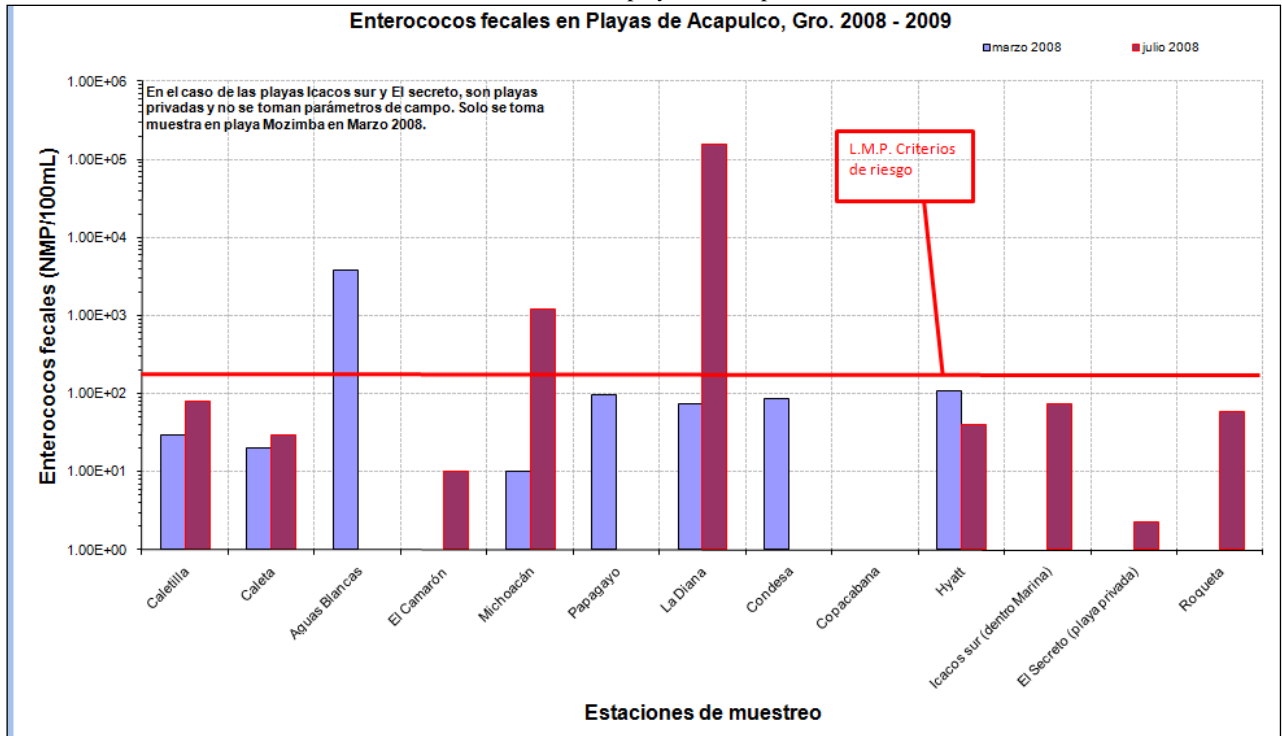
Para el mes de Marzo de 2009, se puede observar que las concentraciones de coliformes fecales, disminuyó en gran medida, solo Playa Olvidada presentó concentraciones por arriba del límite,  $1.00 \cdot 10^4$ .

Figura 37. Calidad microbiológica de las Playas (Coliformes fecales).



Para el parámetro de Enterococos fecales, en el mes de Marzo, solo la playa de Aguas Blancas es la que presenta una concentración por arriba del límite de 500 Enterococos fecales NMP/100mL, alcanzando una concentración de 3870 NMP/100mL, la mayoría de las playas no presentan una concentración superior a un orden de magnitud de  $1.0 \cdot 10^2$ . En el segundo muestreo en el mes de Julio, fue la playa La Diana, la cual presenta una concentración máxima de  $1.55 \cdot 10^5$  Enterococos NMP/100mL, seguida de la playa Michoacán con  $1.22 \cdot 10^3$ , mientras que las demás conservan concentraciones con valores por debajo de un orden de magnitud  $1.0 \cdot 10^2$ .

Gráfica 29. Enterococos fecales en playas de Acapulco Guerrero, 2008.

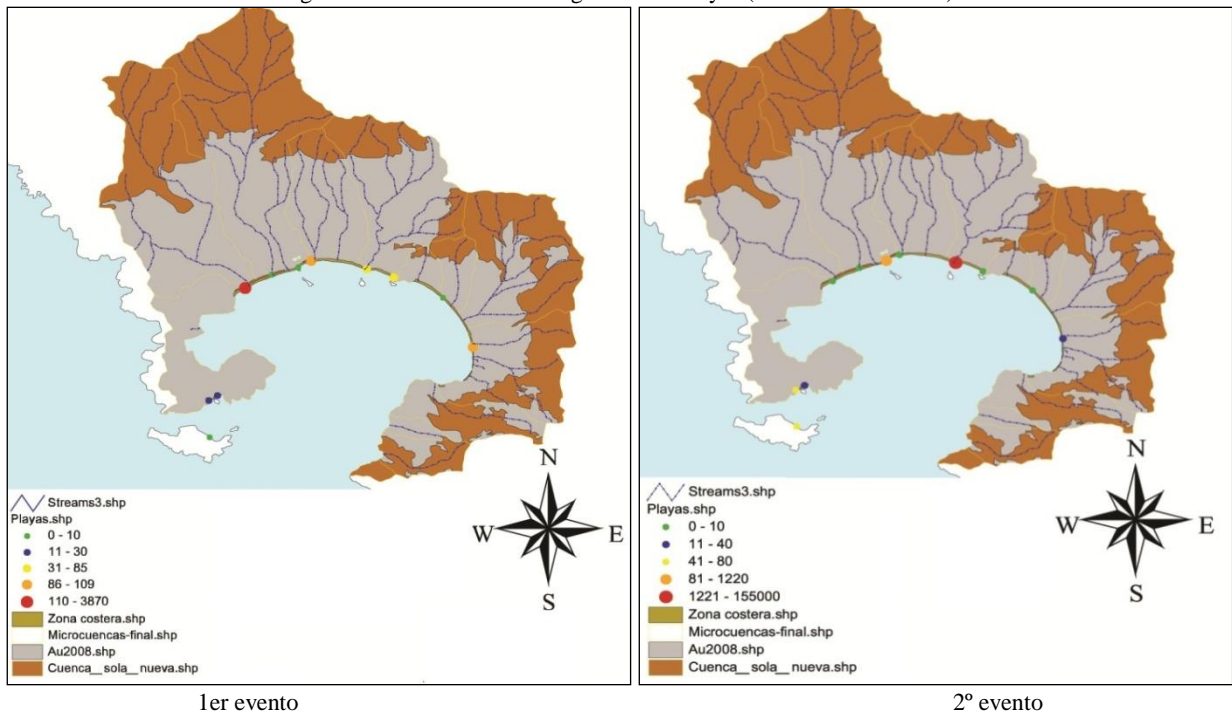


Para el parámetro de calidad microbiológica del agua como lo son los Enterococos fecales, existe un límite máximo permisible establecido por la Secretaría de Salud, de 500 Enterococos fecales/100mL, expresados como NMP/100mL, con la finalidad de protección para evitar riesgos sanitarios por uso recreativo con contacto primario.

Para el mes de Marzo de 2008 la mayoría de las playas de la ciudad de Acapulco, a excepción de Aguas Blancas, Mozimba y Playa Olvidada cumplen con la normatividad de protección contra riesgo sanitario. La mayoría de las playas en este mes está por debajo de concentraciones de  $1.00 \times 10^2$  cumpliendo con la normatividad.

Para el mes de Julio de 2008, cuando coincide el inicio del temporal de lluvias y el inicio del periodo de vacaciones, se pueden observar 2 playas que sobrepasan el valor de la normatividad para riesgo sanitario: Playa Michoacán, frente al parque Papagayo, en donde hay una gran afluencia turística, además de ser uno de los arroyos que solo eventualmente descargan a la playa y que traen consigo descargas de tipo residual. Playa La Diana, en donde de forma casi permanente hay escurrimiento del arroyo y al final del mismo se encuentra de forma artificial un pequeño estanque en donde se retiene el agua de este arroyo para después llegar por fin a la bahía.

Figura 38. Calidad microbiológica de las Playas (Enterococos fecales).



### 7.13 Análisis de resultados de nutrientes y microbiológicos en bahía

De acuerdo con los resultados obtenidos de los dos muestreos llevados a cabo en los meses de Marzo y Julio del año 2008, se pudieron obtener los siguientes datos fisicoquímicos de las muestras de las estaciones superficiales de agua, en donde se determinaron las concentraciones de nitrógeno y fósforo en su forma total, Coliformes fecales y Enterococos fecales, así como los parámetros fisicoquímicos de campo.

Tabla 29 Datos de calidad del agua del primer y segundo muestreo en campo en las estaciones de bahía.

| Estación | Temperatura (°C) |            | pH (unidades) |            | O.D. (mg/L) |            | SDT (mg/L) |            |
|----------|------------------|------------|---------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
|          | marzo 2008       | julio 2008 | marzo 2008    | julio 2008 | marzo 2008  | julio 2008 | marzo 2008 | julio 2008 |
| E5       | 24.90            | 29.42      | 7.91          | 8.00       | 8.53        | 8.28       | 32960      | 34446      |
| E6       | 24.38            | 29.46      | 7.88          | 7.92       | 7.03        | NR         | 32876      | 34426      |
| E7       | 24.67            | 29.54      | 8.02          | 7.97       | 9.26        | NR         | 32972      | 34452      |
| E8       | 24.06            | 29.96      | 7.51          | 7.89       | 6.87        | 7.37       | 32980      | 32400      |
| E9       | 24.17            | 28.96      | 7.94          | 7.76       | 7.44        | 7.96       | 32977      | 30821      |
| E10      | 24.16            | 29.36      | 7.92          | 7.92       | 6.49        | 7.42       | 32982      | 30318      |
| E11      | 24.22            | 29.56      | 7.79          | 7.96       | 6.52        | 6.83       | 32950      | 30583      |
| E12      | 24.43            | 30.07      | 5.85          | 7.96       | 7.87        | 6.45       | 32948      | 29712      |
| E13      | 24.26            | 30.13      | 6.76          | 7.96       | 7.94        | 6.48       | 32978      | 29935      |
| E14      | 24.50            | 30.39      | 7.96          | 7.96       | 7.18        | 7.39       | 32863      | 32380      |
| E15      | 24.91            | 30.55      | 8.00          | 7.93       | 7.23        | 6.12       | 32971      | 31410      |
| E16      | 25.48            | 30.46      | 7.62          | 7.93       | 7.66        | 6.04       | 32827      | 31559      |
| E17      | 25.26            | 30.44      | 7.98          | 7.91       | 8.49        | 7.05       | 32960      | 30713      |
| E18      | 25.31            | 30.39      | 8.03          | 7.94       | 7.86        | 7.15       | 33027      | 32419      |
| E19      | 25.71            | 30.27      | 8.08          | 7.93       | 8.11        | 5.95       | 33015      | 31869      |
| E20      | 25.72            | 30.27      | 8.11          | 7.93       | 8.57        | 5.95       | 33010      | 31869      |
| E21      | 25.72            | 30.79      | 8.08          | 7.95       | 8.57        | 5.24       | 33006      | 31977      |
| E22      | 25.31            | 30.79      | 8.05          | 7.95       | 7.94        | 5.24       | 33017      | 31977      |
| E23      | 25.03            | 30.06      | 7.74          | 8.07       | 8.28        | NR         | 33013      | 32582      |
| E24      | 24.54            | 29.81      | 8.03          | 8.07       | 8.16        | NR         | 33017      | 32652      |
| E25      | 24.19            | 29.81      | 7.65          | 8.07       | 6.94        | NR         | 33001      | 32652      |

| Estación | Salinidad (g/L o ppt) |            | Coliformes Fecales (NMP/100mL) |            | Enterococos (NMP/100mL) |            | N total (mg/L) |            |
|----------|-----------------------|------------|--------------------------------|------------|-------------------------|------------|----------------|------------|
|          | marzo 2008            | julio 2008 | marzo 2008                     | julio 2008 | marzo 2008              | julio 2008 | marzo 2008     | julio 2008 |
| E5       | 33.26                 | 34.82      | <3                             | 7.30E+01   | 4.00E+01                | <1         | <1.20          | <1.20      |
| E6       | 33.18                 | 34.80      | 9.00E+00                       | 3.28E+03   | 1.00E+01                | 3.00E+01   | <1.20          | <1.20      |
| E7       | 33.28                 | 34.82      | 2.30E+01                       | 2.72E+02   | 1.00E+01                | 2.72E+02   | <1.20          | <1.20      |
| E8       | 33.30                 | 32.48      | 2.40E+02                       | 9.32E+02   | <1                      | <1         | <1.20          | <1.20      |
| E9       | 33.29                 | 30.74      | 9.30E+01                       | 2.06E+02   | 1.00E+02                | 1.71E+02   | <1.20          | <1.20      |
| E10      | 33.30                 | 30.17      | 2.30E+01                       | 1.41E+02   | <1                      | 2.26E+02   | <1.20          | <1.20      |
| E11      | 33.26                 | 30.46      | 7.50E+01                       | 7.20E+01   | 2.00E+01                | 2.13E+02   | <1.20          | <1.20      |
| E12      | 33.26                 | 29.48      | 2.10E+01                       | 2.23E+02   | 4.10E+01                | 5.20E+01   | 1.50           | <1.20      |
| E13      | 33.29                 | 29.72      | 4.60E+02                       | 2.06E+02   | 4.10E+01                | 1.08E+02   | <1.20          | <1.20      |
| E14      | 33.16                 | 32.45      | 2.10E+01                       | 2.59E+02   | <1                      | <1         | <1.20          | <1.20      |
| E15      | 33.27                 | 31.35      | 7.00E+00                       | 1.44E+02   | <1                      | 3.10E+01   | <1.20          | <1.20      |
| E16      | 33.10                 | 31.52      | <3                             | 3.41E+02   | <1                      | 9.60E+01   | <1.20          | <1.20      |
| E17      | 33.25                 | 30.58      | 7.00E+00                       | NR         | <1                      | NR         | <1.20          | <1.20      |
| E18      | 33.33                 | 32.49      | 4.00E+00                       | 2.42E+02   | 2.00E+01                | 1.00E+01   | <1.20          | <1.20      |
| E19      | 33.30                 | 31.88      | 4.00E+00                       | 4.10E+01   | 2.00E+01                | 1.00E+01   | <1.20          | <1.20      |
| E20      | 33.30                 | 31.88      | <3                             | 7.52E+02   | <1                      | 2.42E+04   | <1.20          | <1.20      |
| E21      | 33.29                 | 31.98      | 4.30E+01                       | 2.45E+02   | 7.50E+01                | 1.97E+02   | <1.20          | <1.20      |
| E22      | 33.32                 | 31.98      | <3                             | 5.19E+02   | <1                      | 8.60E+02   | <1.20          | <1.20      |
| E23      | 33.32                 | 32.69      | <3                             | 1.07E+02   | <1                      | 1.00E+01   | <1.20          | <1.20      |
| E24      | 33.33                 | 32.77      | 4.00E+00                       | 2.20E+02   | 1.00E+01                | 1.00E+01   | <1.20          | <1.20      |
| E25      | 33.32                 | 32.77      | <3                             | 3.84E+02   | 2.00E+01                | 1.00E+01   | <1.20          | <1.20      |

| Estación | P total (mg/L) |            | ST (mg/L)  |            | N-NO3 (mg/L) |            | o-PO4 (mg/L) |            |
|----------|----------------|------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
|          | marzo 2008     | julio 2008 | marzo 2008 | julio 2008 | marzo 2008   | julio 2008 | marzo 2008   | julio 2008 |
| E5       | 0.053          | 0.090      | 3.75E+04   | 3.58E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E6       | 0.107          | 0.050      | 3.73E+04   | 3.57E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E7       | 0.049          | <0.0186    | 3.66E+04   | 3.59E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E8       | 0.030          | 0.020      | 3.76E+04   | 3.76E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E9       | <0.018         | 0.080      | 3.57E+04   | 3.48E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | 2.00E-02   |
| E10      | <0.018         | 0.050      | 3.65E+04   | 3.29E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | 2.00E-02   |
| E11      | 0.034          | 0.050      | 3.62E+04   | 3.41E+04   | <0.1         | 1.01E-01   | <0.018       | 2.00E-02   |
| E12      | 0.035          | 0.080      | 3.68E+04   | 3.24E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | 4.00E-02   |
| E13      | 0.052          | 0.050      | 3.63E+04   | 3.41E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | 3.00E-02   |
| E14      | <0.018         | 0.040      | 3.61E+04   | 3.51E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E15      | 0.036          | 0.060      | 3.68E+04   | 3.45E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E16      | 0.035          | 0.030      | 3.74E+04   | 3.45E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E17      | 0.041          | 0.180      | 3.58E+04   | 3.33E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | 5.00E-02   |
| E18      | <0.018         | 0.090      | 3.68E+04   | 3.63E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E19      | 0.052          | 0.080      | 3.84E+04   | 3.64E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E20      | 0.042          | 0.090      | 3.69E+04   | 3.29E+04   | <0.1         | 1.26E-01   | <0.018       | 3.00E-02   |
| E21      | 0.043          | 0.070      | 3.69E+04   | 6.50E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E22      | 0.043          | 0.030      | 3.70E+04   | 3.34E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | 3.00E-02   |
| E23      | 0.030          | 0.030      | 3.82E+04   | 3.61E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E24      | 0.032          | 0.040      | 3.64E+04   | 3.53E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |
| E25      | 0.034          | 0.019      | 3.72E+04   | 3.55E+04   | <0.1         | <0.1       | <0.018       | <0.0186    |

Para el parámetro de temperatura, se puede apreciar un incremento de aproximadamente 5 grados celsius de forma casi homogénea para todas las estaciones de muestreo sin mayor variación entre los muestreos del mes de Marzo y Julio. En el pH, no existe variación significativa entre ambos eventos y se mueve en un rango muy reducido que va de 6.13 a 8.03 para el primer muestreo, mientras que para el segundo es aun mucho mas cerrado el rango, apenas fluctuando entre 7.76 y 8.07 unidades, a una profundidad de aproximadamente medio metro.

El oxígeno disuelto de igual forma casi no tiene variación en cuanto a las concentraciones y se mantiene en un rango que va de los 6.04mg/L 8.56mg/L, el cual es producto del oleaje y la productividad primaria. En el caso de los sólidos disueltos totales y la salinidad, existe una mínima variación que se podria atribuir al cambio de las mareas entre los muestreos, este cambio es apenas perceptible en cuanto a salinidad y sólidos disueltos totales.

en el caso de los parámetros microbiológicos de calidad del agua tales como coliformes fecales, se aprecia un ligero incremento en la concentración de dicho organismo, ya que durante el mes de Marzo, estas concentraciones tenian como punto máximo  $4.60 \cdot 10^2$  en la estación E13, mientras que para el mes de Julio, casi de forma uniforme las concentraciones se incrementaron en un orden de magnitud, teniendo concentraciones del orden de  $1.0 \cdot 10^2$ , el máximo se ubicó en la estación E6 con una concentración de  $3.28 \cdot 10^3$ .

De estos resultados de laboratorio, podemos observar la dispersión e identificar los puntos de muestreo en donde las concentraciones de coliformes fecales en bahía son mayores; para el primer muestreo, se pueden observar en particular 5 sitios, de los cuales, el que se encuentra dentro de la zona de estudio (interior de la bahía de Acapulco) y que es el de mayor

concentración, está situado en el lugar conocido como “La roca del Elefante” a las afueras de la bahía, otro más frente a la playa del arroyo Aguas Blancas y por último frente a la playa El Secreto, en donde de igual forma se localiza de forma permanente una descarga aparentemente de carácter residual proveniente de la zona habitacional y que llega a esta playa, para mezclarse con el agua marina.

Por otra parte, en la figura que representa el segundo muestreo podemos apreciar de nuevo como en el canal que lleva hasta la isla de Roqueta, en donde en las playas de Caleta y Caletilla se dispararon las concentraciones de coliformes fecales, debido principalmente a la alta afluencia turística durante la visita de muestreo, además de que debido a las lluvias se puede apreciar frente a las descargas de los principales arroyos una elevada concentración de coliformes fecales, ocasionado por lavado de la cuenca por acción de las lluvias.

De acuerdo con los CECA, se especifica que el límite máximo permisible para los coliformes fecales no deben exceder de 200 expresados como NMP/100mL, para agua dulce o marina, para los rubros de contacto primario con uso recreativo y protección de la vida acuática. Por lo cual es utilizado para contrastar los resultados obtenidos de los escurrimientos de los arroyos, así como también del agua de las playas.

Los Enterococos fecales, tuvieron un comportamiento similar, ya que en el mes de Marzo, se presentaron concentraciones máximas del orden de  $1.0 \cdot 10^2$  en la estación E9, mientras que las demás estaciones no sobrepasaron el orden de E20 con una concentración de  $2.42 \cdot 10^4$ , siendo esta la única que sobrepasa el límite de riesgo sanitario de 500 Enterococos fecales NMP/100mL establecido para protección a bañistas.

En el caso del nutriente nitrógeno en su forma total, no se apreció variación en su concentración para toda la bahía, las muestras tuvieron concentraciones por debajo del límite de cuantificación que reportó el Laboratorio de Calidad del Agua del IMTA. Para el fósforo se puede observar una ligera fluctuación de este mismo en las estaciones durante los dos muestreos, pero dicho incremento es muy pequeño.

los sólidos totales, para toda la bahía durante los muestreos, se mantuvieron en un rango que va desde los  $3.58 \cdot 10^4$  mg/L y  $3.76 \cdot 10^4$  mg/L, no se aprecia una variación significativa. Los parámetros tales como nitrógeno de nitratos y orto fosfatos, en su mayoría se mantuvieron por debajo de los límites de cuantificación reportados por el laboratorio, y no se aprecia variación en ellos a excepción de un par de estaciones que presentaron concentraciones de orto fosfatos que están en un rango de 0.02 a 0.05mg/L.

Figura 39. Calidad microbiológica del agua de la bahía (coliformes fecales).

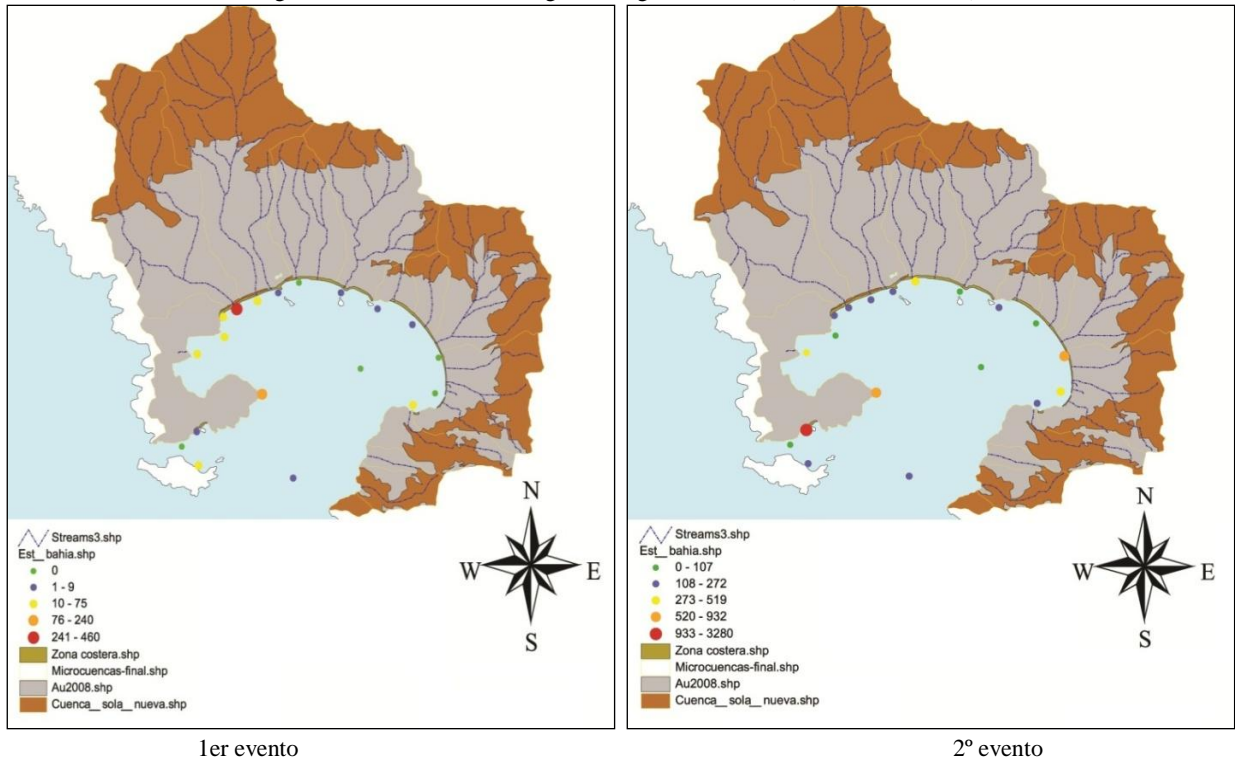
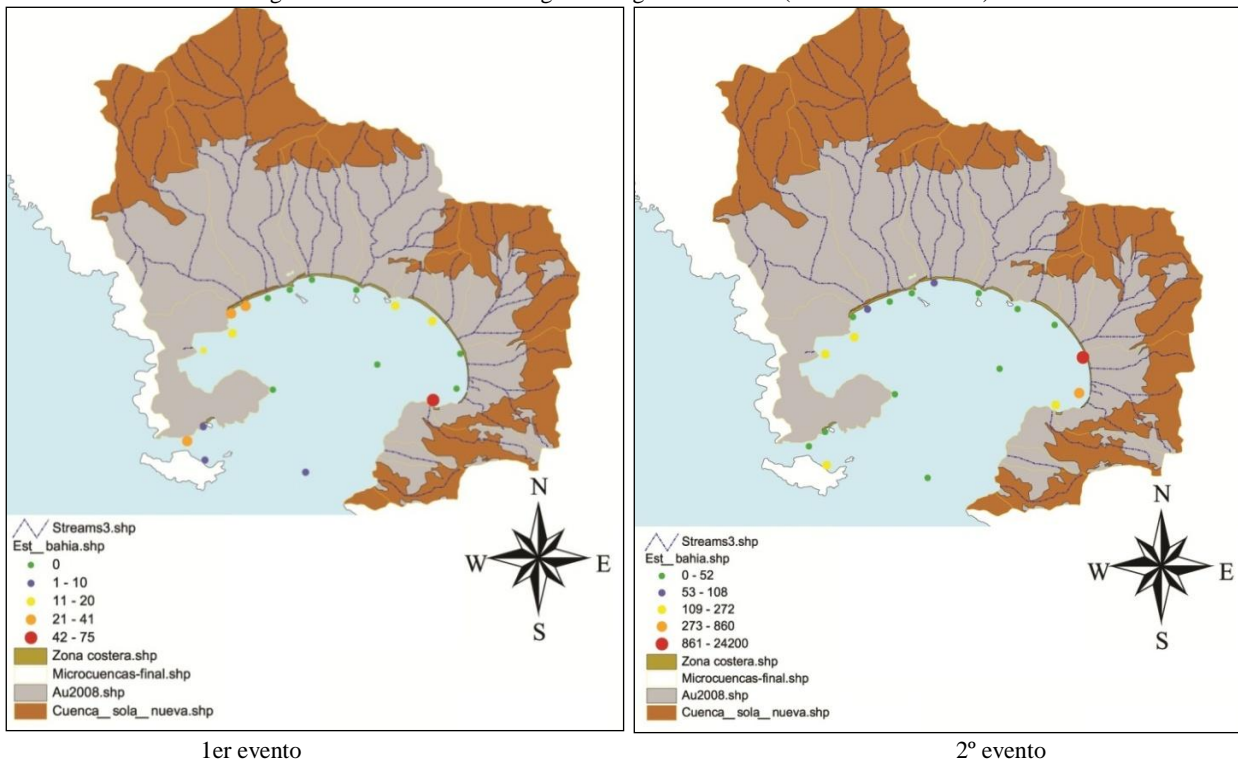


Figura 40. Calidad microbiológica del agua de la bahía (Enterococos fecales).



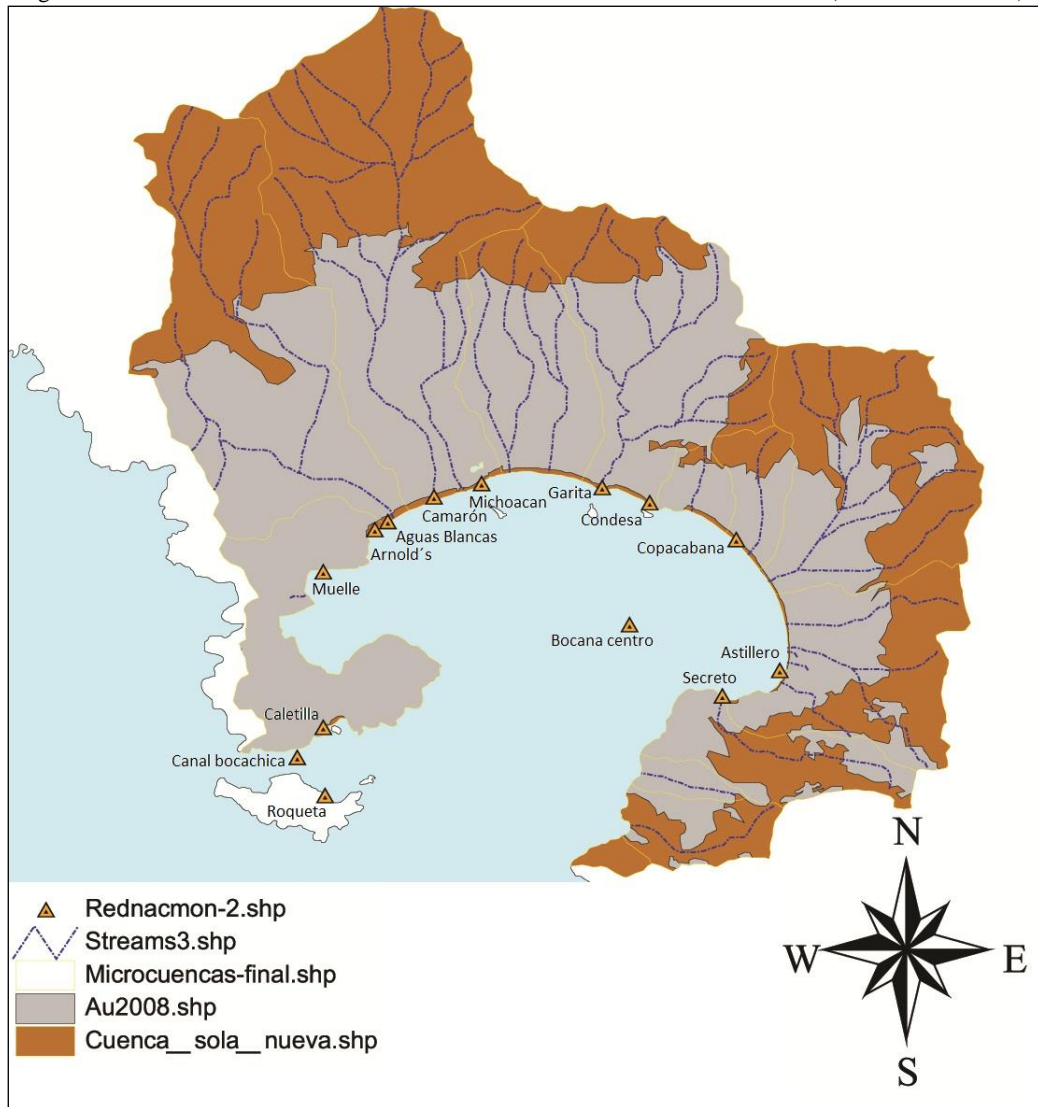


### 7.14 Red nacional de monitoreo - bahía (Coliformes fecales).

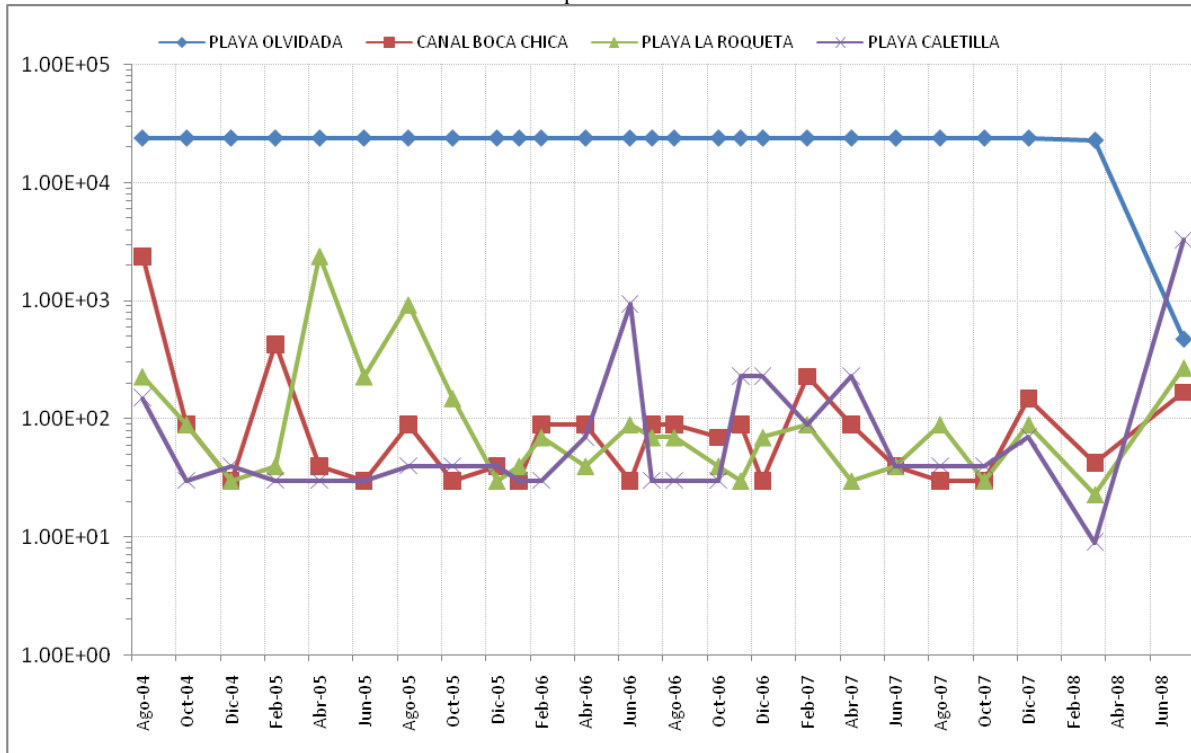
De acuerdo con la base de datos de la calidad microbiológica del agua de la bahía de Acapulco Guerrero, la cual refleja los resultados obtenidos tras 4 años de monitoreo de la calidad del agua del mes de Agosto de 2004 a Diciembre de 2007, además de los dos muestreos que se realizaron durante este trabajo, en los meses de Marzo y Julio de 2008, se puede observar que tanto en este estudio como en la base de datos de la Red Nacional de Monitoreo de la CONAGUA, coinciden las siguientes estaciones de muestreo.

Playa Olvidada, Canal Bocachica, Caletilla, Roqueta, Muelle del Malecón, Arnolds, Aguas Blancas, El Camarón, Michoacán, La Diana, Condesa, Copacabana, Hyatt, Marina, El Secreto , Centro de Bahía.

Figura 41. Distribución de estaciones de muestreo de la Red Nacional de Monitoreo (Coliformes fecales).



Gráfica 30. Comportamiento de las concentraciones de Coliformes fecales en la bahía RED NACIONAL DE MONITOREO, parte 1.



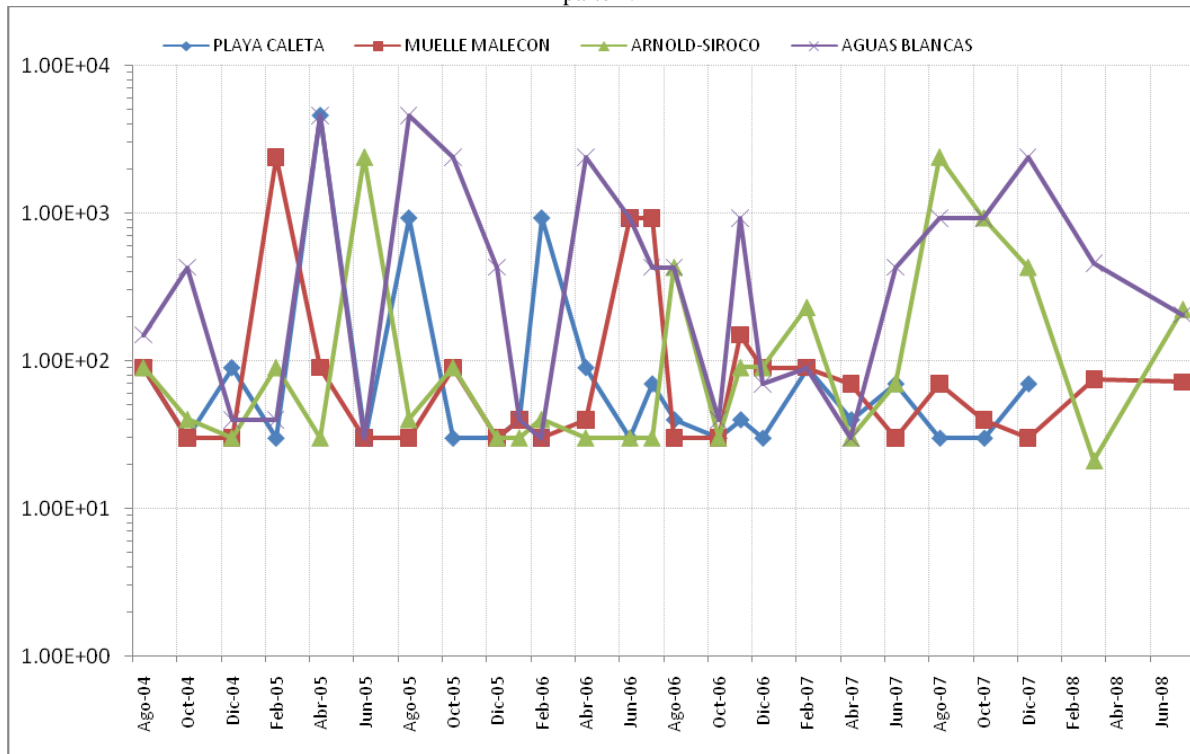
En la gráfica 30 podemos comparar los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio de la Red Nacional de Monitoreo CONAGUA durante el periodo de Agosto 2004 a Diciembre 2007, así como los dos muestreos llevados a cabo en este estudio, (meses de Marzo y Julio 2008) y podemos ver que en el caso de la estación Playa Olvidada, muestra una concentración muy estable a lo largo de este periodo de 4 años y solo en el mes de Julio 2008, se nota una disminución de casi 2 órdenes de magnitud, este punto de muestreo tiene concentraciones por arriba de 24000 NMP/100mL y solo es en el mes de Julio 2008 es cuando se reporta una concentración de 476 NMP/100mL.

Para el caso de la estación denominada como Canal Bocachica, a lo largo del periodo de monitoreo de 4 años, en las primeras etapas de éste, es decir, en el año de 2004, alcanzó concentraciones superiores a las 2400 NMP/100mL y presenta una tendencia a disminuir a lo largo del año mostrando puntos máximos de concentración menores a 450 NMP/100mL en los meses de Febrero. En cambio en los meses de monitoreo de este estudio, se puede ver que dichas concentraciones se encuentran en la media para este sitio en particular.

Para el sitio de muestreo denominado como Playa Roqueta, podemos apreciar tres puntos máximos donde la concentraciones de coliformes fecales alcanzan desde 230 hasta concentraciones mayores a 2400 NMP/100mL en tres ocasiones durante el año 2005, estos puntos los de mayor concentración durante todo el periodo de 4 años. En comparación con los resultados obtenidos durante los dos muestreos que se realizaron en el año 2008, las concentraciones se encuentran cercanos a la media obtenida a lo largo del periodo de 4 años, con 23 y 272 NMP/100mL en los meses de Marzo y Julio respectivamente.

La estación denominada Caletilla, presenta una media de 225 NMP/100mL durante los 4 años de monitoreo, siendo en el mes de Julio 2006, en donde hay un pico como concentración máxima reportada por la red de monitoreo de 930 NMP/100mL, en comparación a estos resultados, los obtenidos en el mes de Marzo y Julio de 2008 respectivamente alcanzan concentraciones de 9 y 3280 NMP/100mL en donde podemos ver que esta última concentración reportada en el mes de Julio, está muy por arriba de la media para esta estación durante estos 4 años. Esta estación es conocida por presentar problemas de descargas de aguas residuales directas al mar por parte de comercios asentados en la zona de playa.

Gráfica 31. Comportamiento de las concentraciones de Coliformes fecales en la bahía RED NACIONAL DE MONITOREO, parte 2.



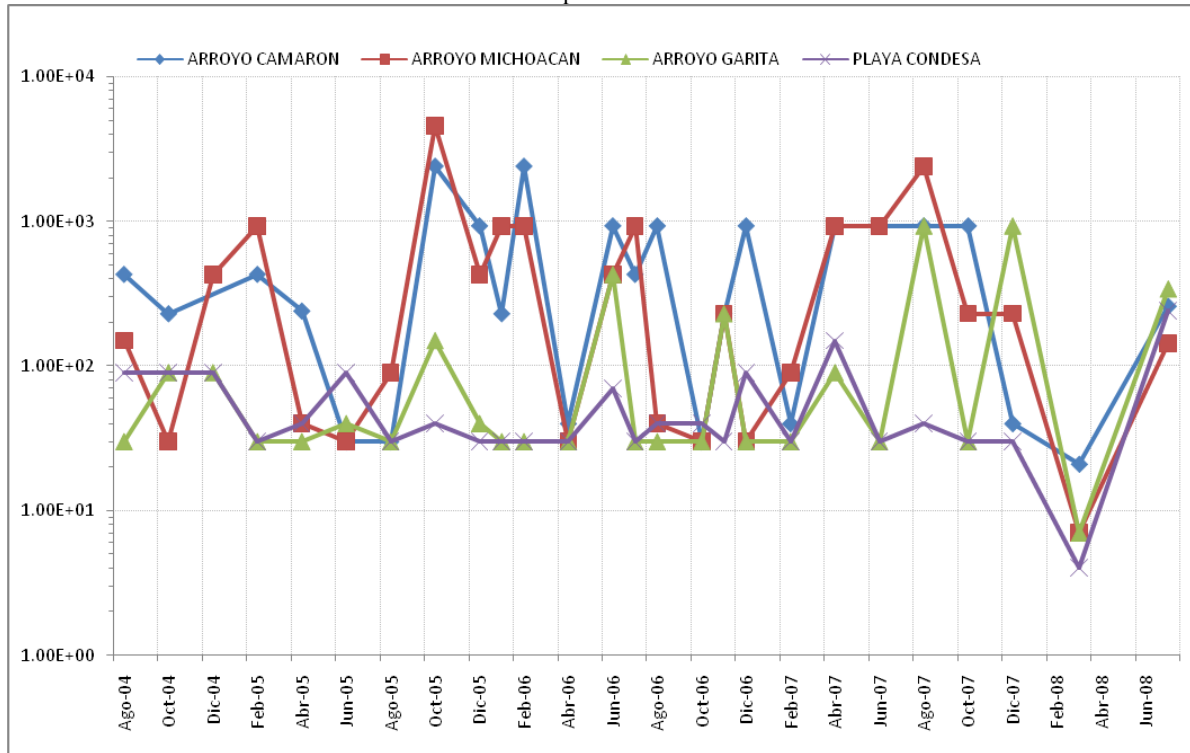
En la estación Caleta, el comportamiento de los coliformes fecales alcanzan en dos puntos concentraciones máximas durante los meses de Agosto 2005 y Febrero 2006, los cuales alcanzan valores de 930 NMP/100mL, esta estación tiene una media de 312 NMP/100mL durante los 4 años de monitoreo.

Para la estación Muelle del Malecón, se pueden observar 3 picos de concentración máximas que van desde los 930 hasta concentración mayores a los 2400 NMP/100mL en los meses de Junio y Julio 2006 así como en Febrero de 2005. Esta estación presenta una media de 214 NMP/100mL. Los muestreos efectuados en el año 2008 se encuentran por debajo de la media para el periodo de monitoreo de 4 años.

La estación denominada como Arnold's Siroco alcanza 2 puntos máximos en Junio 2005 y Agosto 2007 con concentraciones superiores a los 2400 NMP/100mL, mientras que en los meses de Marzo y Julio de 2008 alcanza concentraciones de 21 y 223 NMP/100mL, siendo estas inferiores a la media de 307 para esta estación en el periodo de 4 años.

En la estación denominada como Aguas Blancas, situada frente a la descarga del arroyo del mismo nombre, se pueden observar 4 puntos de concentración máxima superiores a los 2400 NMP/100mL en los meses de Agosto, Octubre 2005, Abril 2006 y Diciembre 2007. Esta estación tiene una media para el periodo de los 4 años de monitoreo de 904 NMP/100mL, siendo las concentraciones reportadas para los meses de Marzo y Julio de 2008 de 460 y 206 NMP/100mL por lo que se encuentran por debajo de la media estadística para esta estación.

Gráfica 32. Comportamiento de las concentraciones de Coliformes fecales en la bahía RED NACIONAL DE MONITOREO, parte 3.



En la estación denominada Arroyo camarón, frente a la descarga del arroyo del mismo nombre a la bahía, se pueden apreciar 2 puntos de concentraciones máximas superiores a los 2400 NMP/100mL en los meses de Octubre de 2005 y Febrero 2006, para esta estación se puede apreciar que existen 6 puntos que se encuentran con concentraciones de 930 NMP/100mL y esto nos arroja una media durante el periodo de monitoreo de 4 años de 598 NMP/100mL organismos coliformes fecales, mientras que las concentraciones de esta misma estación de monitoreo durante los muestreos del año 2008 nos arrojan resultados de 21 y 259 NMP/100mL organismos coliformes fecales, estando estos por debajo de la media estadística para esta estación a lo largo del periodo de monitoreo de 4 años.

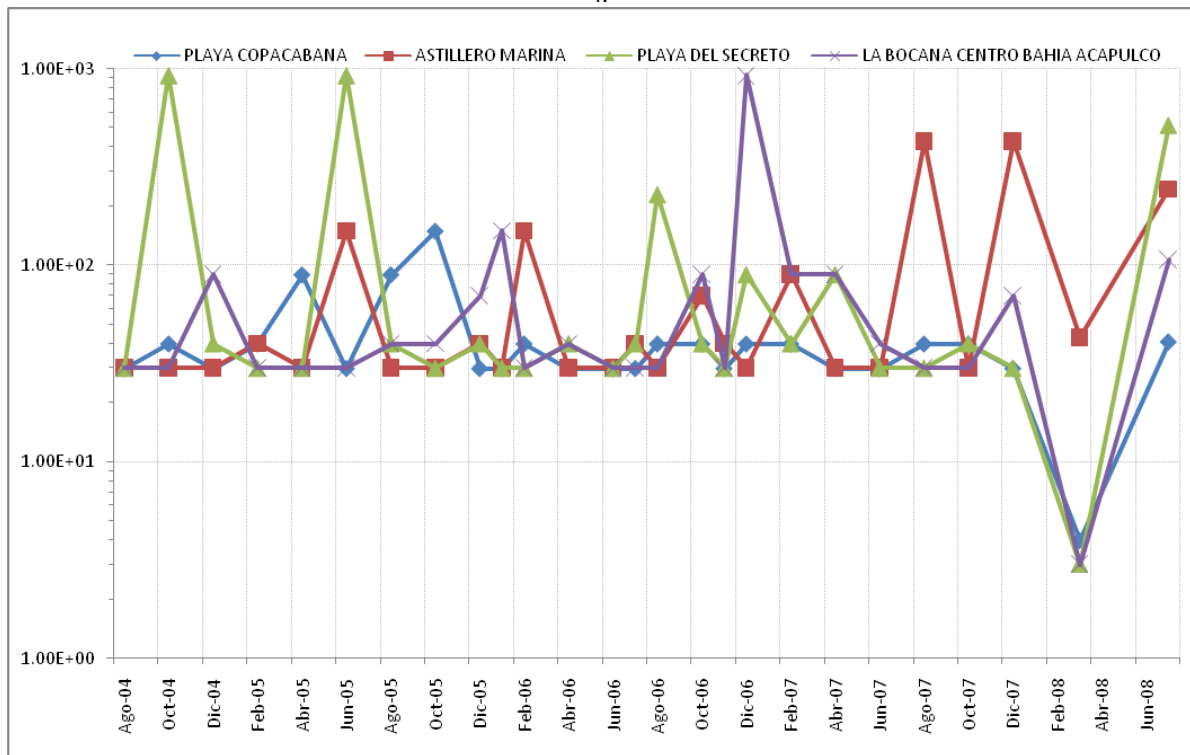
De forma similar la estación denominada como Arroyo Michoacán, situada frente a la descarga del arroyo del mismo nombre tiene 2 puntos de concentración máxima superiores a las 2400 NMP/100mL en los meses de Octubre 2005 y Agosto 2007, mientras que tiene al igual que en el caso del arroyo Camarón 6 concentraciones de 930 NMP/100mL, lo cual arroja una media de 587 organismos coliformes fecales en el periodo de monitoreo de 4 años, mientras que las concentraciones de los meses de Marzo y Julio 2008 son de apenas 7 y 144 organismos

coliformes fecales NMP/100mL estando estos por debajo de la media estadística para esta estación durante los 4 años de monitoreo.

En la estación de muestreo La Garita o La Diana, se pueden observar 2 puntos máximos de concentración en los meses de Agosto y Diciembre 2007 con 930 organismos coliformes fecales NMP/100mL, mientras que durante este periodo de monitoreo tiene una media de 146 NMP/100mL, mientras que en los meses de Marzo y Julio 2008 se cuantificaron concentraciones de 7 y 341 organismos coliformes fecales NMP/100mL, siendo esta última concentración en el mes de Julio 2008 superior a la media de todo el periodo de monitoreo de 4 años.

La estación Condesa, es de este grupo de 4 estaciones la que presenta menores concentraciones a lo largo de estos 4 años de monitoreo y solo presenta 1 solo punto máximo de concentración en el mes de Abril 2007 con 150 NMP/100mL lo cual nos permite observar una concentración media de 57 NMP/100mL, mientras que en los meses de Marzo y Julio 2008 se pueden observar 4 y 242 respectivamente, lo cual nos permite ver que solo es en esta última campaña de monitoreo en el mes de Julio de 2008 en donde se alcanza la concentración máxima de todo el periodo de monitoreo.

Gráfica 33. Comportamiento de las concentraciones de coliformes fecales en la bahía RED NACIONAL DE MONITOREO, parte 4.



Para el caso de la estación Copacabana, podemos apreciar solo un punto máximo de concentración, el cual alcanza los 150 organismos coliformes fecales NMP/100mL, por lo que la media de concentraciones durante el monitoreo de 4 años es muy baja (42 organismos coliformes fecales NMP/100mL), y con esto podemos decir que en el caso de los muestreos de los meses de Marzo y Julio 2008, solo el mes de Julio, tuvo un valor cercano a la media, siendo este de 41 organismos coliformes fecales.

En la estación situada en el astillero de la Secretaría de Marina Armada de México, se pueden observar 4 concentraciones pico, dos de las cuales son del orden de 150 organismos y los otros 2 del orden de 430 organismos coliformes fecales, por lo que podemos calcular una media de 84 NMP/100mL, mientras que en los muestreos de los meses de Marzo y Julio de 2008 tenemos 43 y 245 NMP/100mL, por lo que solo una de estas concentraciones, en el mes de Julio sobrepasa la concentración media de todo el periodo de monitoreo.

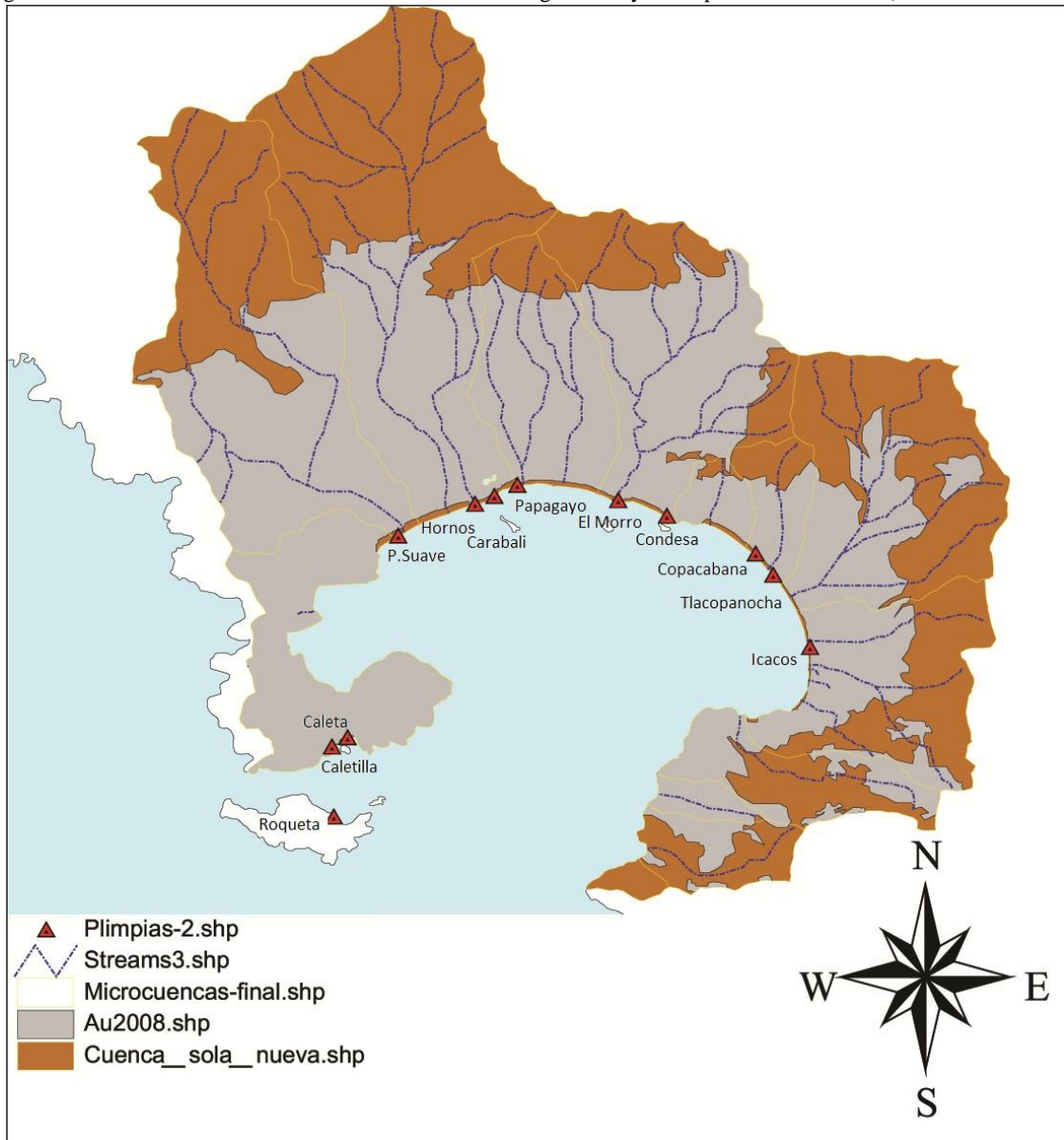
En la estación situada, frente a la playa privada del conjunto residencial denominado como El Secreto, situado al costado del astillero de la Secretaría de Marina Armada de México, se pueden observar tres picos de concentraciones máximas, dos de los cuales están situados en los meses de Octubre 2004 y Junio 2005, en los cuales la concentración máxima es de 930 NPM/100mL, mientras que en el tercer punto máximo situado en el mes de Agosto 2006, se cuantificó una concentración de 230 organismos coliformes fecales, esto nos permite calcular una concentración media de 132 organismos coliformes fecales, mientras que en los meses de Marzo y Julio 2008 tenemos 3 y 519 organismos coliformes fecales por lo que solo esta última concentración, en el mes de Julio, es la que sobrepasa la media para todo el periodo de monitoreo de 4 años.

La Bocana – Centro de la Bahía, presenta únicamente dos puntos de máxima concentración siendo en los meses de Enero y Diciembre 2006 con concentraciones de 150 y 930 organismos coliformes fecales respectivamente, esta estación presenta una media de concentraciones relativamente baja, del orden de 85 NMP/100mL, mientras que los muestreos de Marzo y Julio 2008 tienen cuantificaciones de tres y ciento siete organismos coliformes fecales, en donde podemos ver que es en el mes de Julio cuando esta concentración es ligeramente superior al valor de la media para todo el periodo de monitoreo de cuatro años.

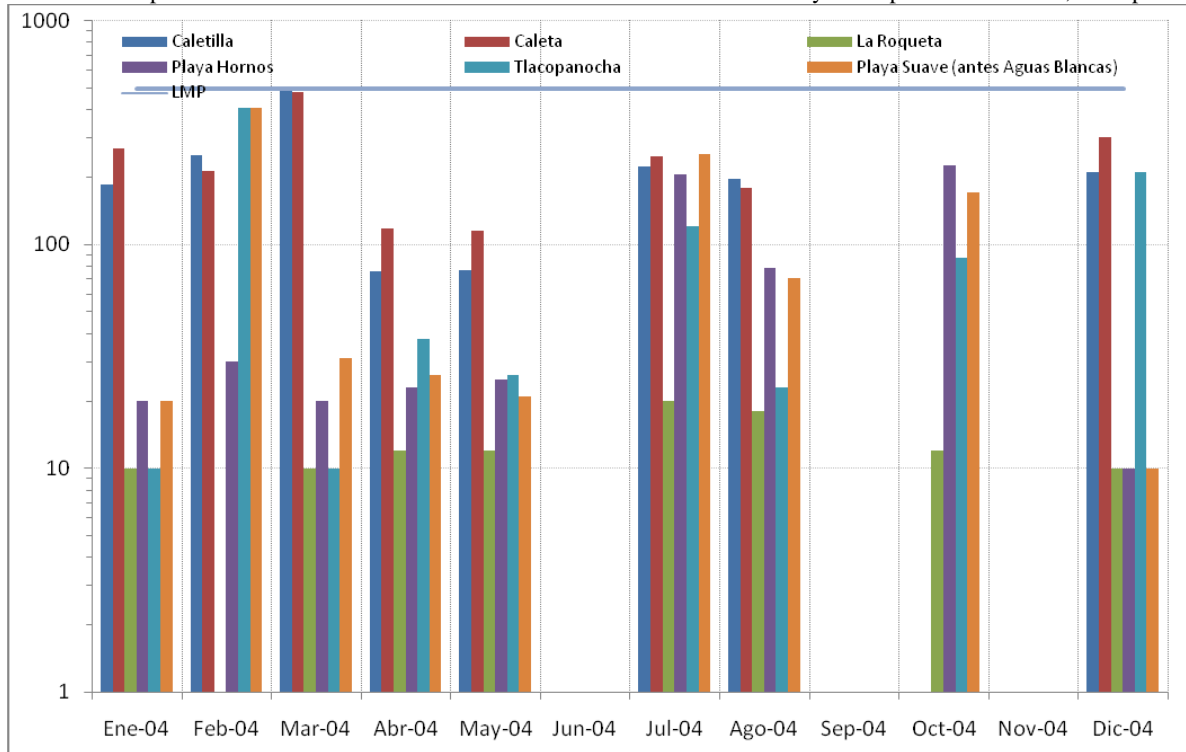
### 7.15 SEMARNAT, Programa Playas Limpias, Calidad bacteriológica de la bahía de Acapulco (Enterococos fecales).

Para efecto de comparar los resultados obtenidos en los dos muestreos de calidad microbiológica del agua de las aguas marinas de primer contacto y recreativas, es necesario recurrir a la base de datos de calidad microbiológica del agua de las playas recreativas que desarrolla la SEMARNAT, mediante el programa de Playas Limpias, misma que consta de datos mensuales de 10 playas las cuales coinciden con los sitios de muestreo de este trabajo y se encuentran reportadas en forma electrónica desde el mes de Enero de 2004 con registros hasta el mes de Octubre de 2008.

Figura 42. Distribución de las estaciones de muestreo del Programa Playas Limpias de la Semarnat (Enterococos fecales).



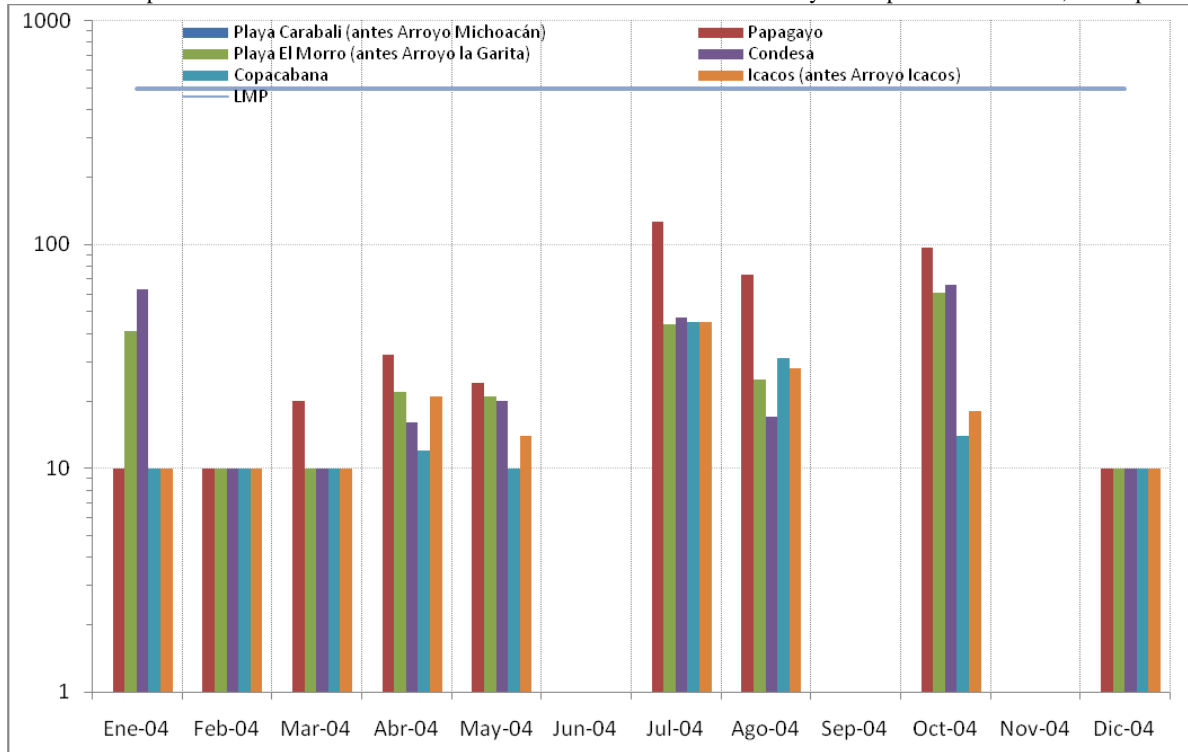
Gráfica 34. Comportamiento de las concentraciones de Enterococos fecales en las Playas Limpias SEMARNAT, 2004 parte 1.



En este gráfico, podemos observar el comportamiento anual de las playas Caleta, Caletilla, Roqueta, Hornos, Tlacopanocha, Aguas Blancas en el año 2004; en donde se puede notar que en este año, solamente en el mes de Marzo las playas de Caleta y Caletilla fueron las que tuvieron una concentración cercana al LMP de Enterococos fecales (500 NMP/100mL), seguidas de Playa Suave y Tlacopanocha en el mes de Febrero. Mientras en los demás meses de muestreo todas estuvieron por debajo de los 300 E.F. NMP/100mL.

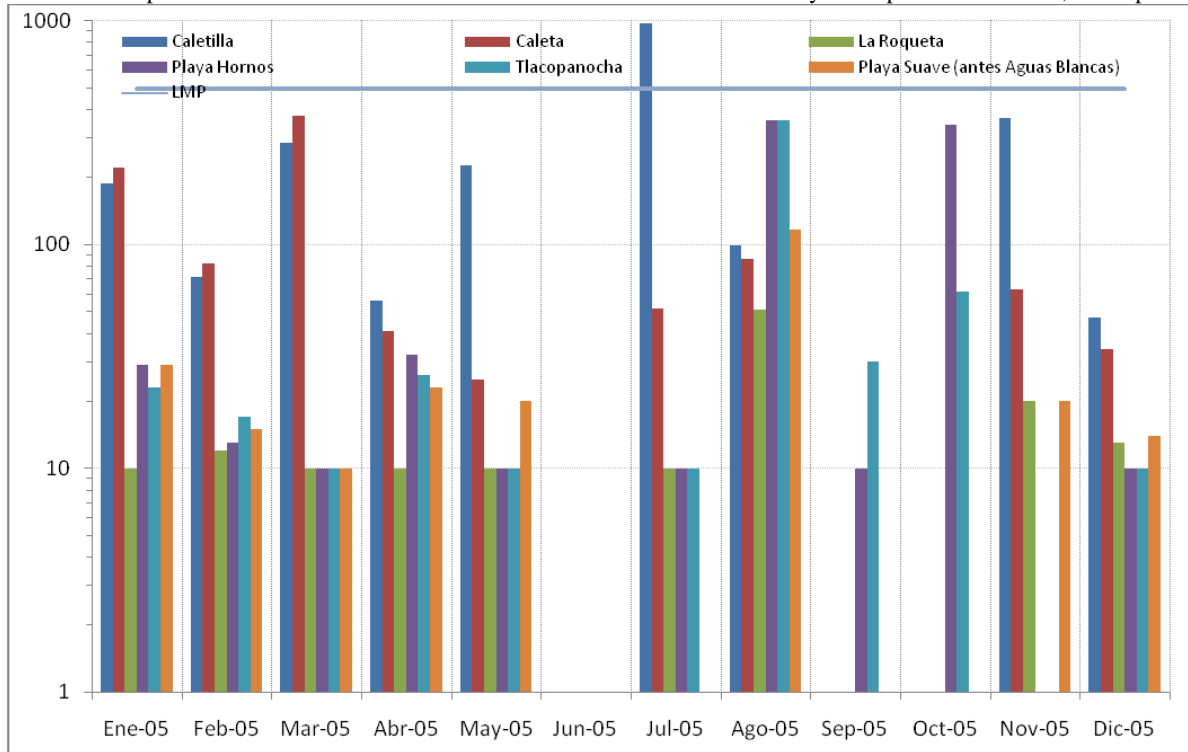


Gráfica 35. Comportamiento de las concentraciones de Enterococos fecales en las Playas Limpias SEMARNAT, 2004 parte 2.



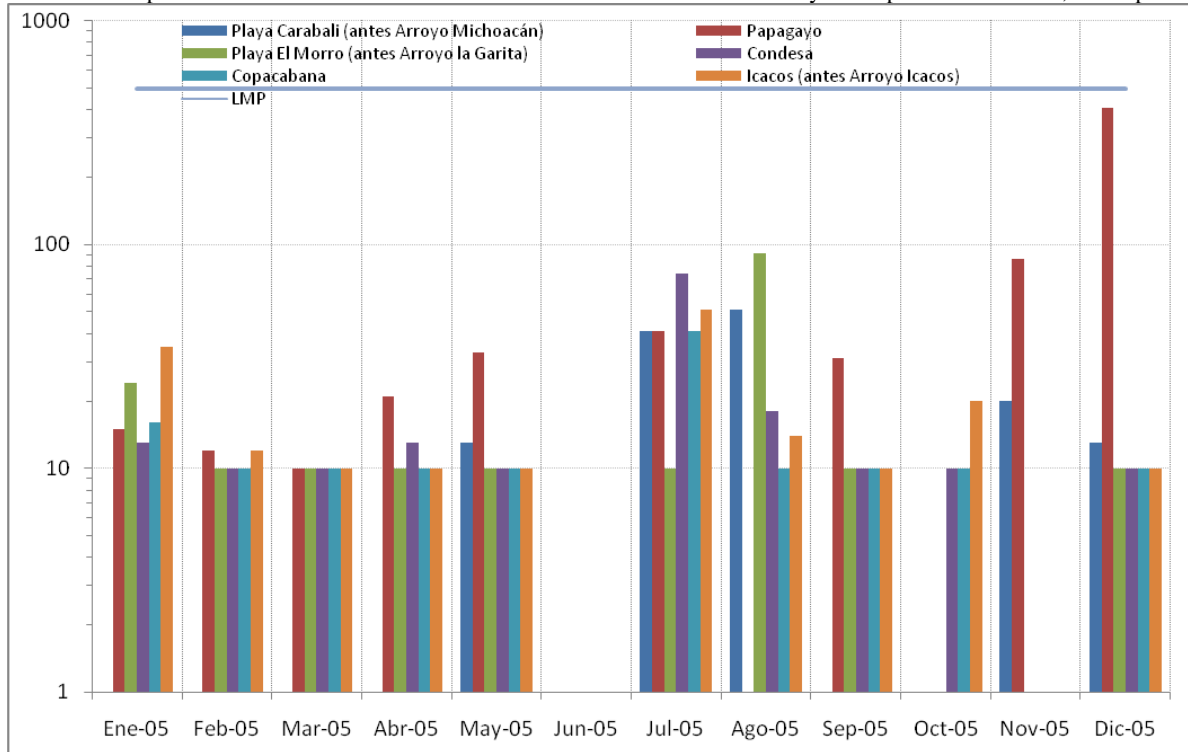
En el mismo año 2004, las playas de Carabalí, Papagayo, La Garita, Condesa, Copacabana e Icacos. Estuvieron muy por debajo del LMP de Enterococos fecales, el cual establece 500 organismos en aguas de uso recreativo y contacto primario. En este gráfico podemos observar que solamente en la temporada de lluvias, es decir de Julio a Octubre de este año, las concentraciones en todas las playas se incrementó ligeramente, pero no llegó a sobrepasar el límite de las 100 NMP/100mL con excepción de la playa Papagayo en el mes de Julio.

Gráfica 36. Comportamiento de las concentraciones de Enterococos fecales en las Playas Limpias SEMARNAT, 2005 parte 1.



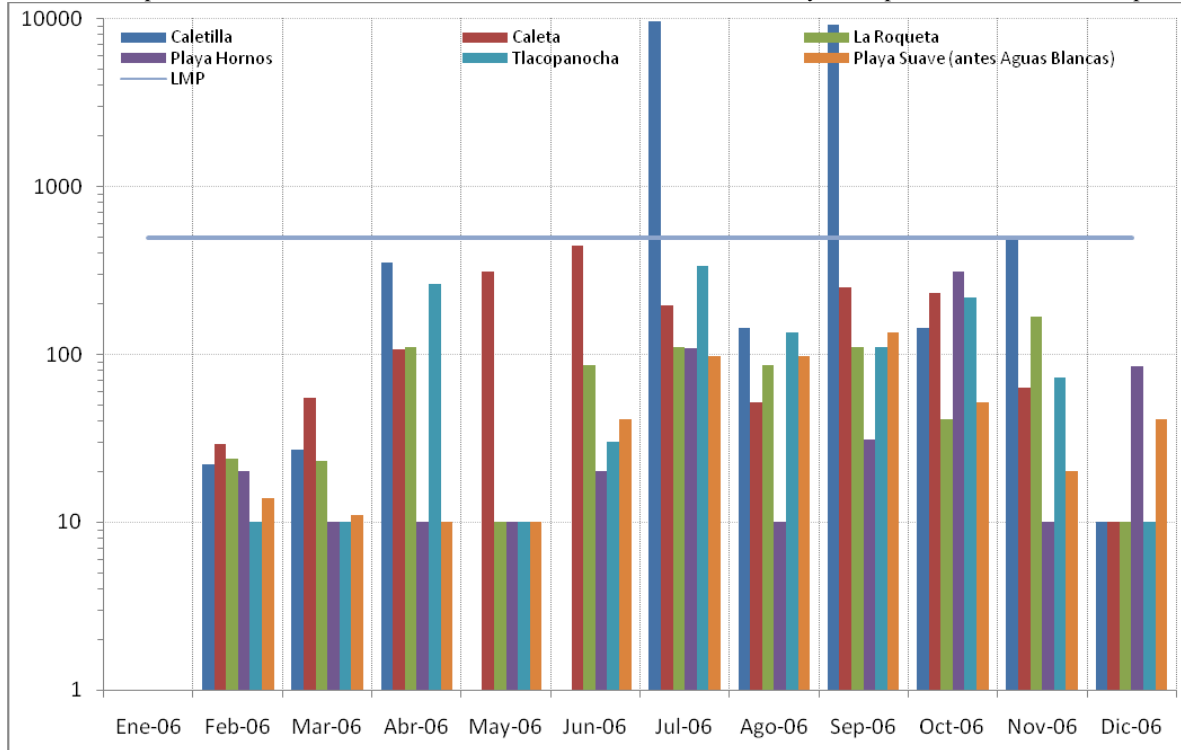
Durante el año 2005, la estación de Caletilla, en el mes de Julio sobrepaso el LMP de 500 E.F. NMP/100mL. Además en este mismo periodo, en varias playas se puede ver un incremento de este parámetro aproximándose al LMP pero sin llegar a él, como es el caso de Caleta y Caletilla en Enero, Caletilla en Mayo, Caleta en el mes de Marzo, Hornos y Tlacopanocha en Agosto, Tlacopanocha en Octubre y nuevamente Caletilla en el mes de Noviembre.

Gráfica 37. Comportamiento de las concentraciones de Enterococos fecales en las Playas Limpias SEMARNAT, 2005 parte 2.



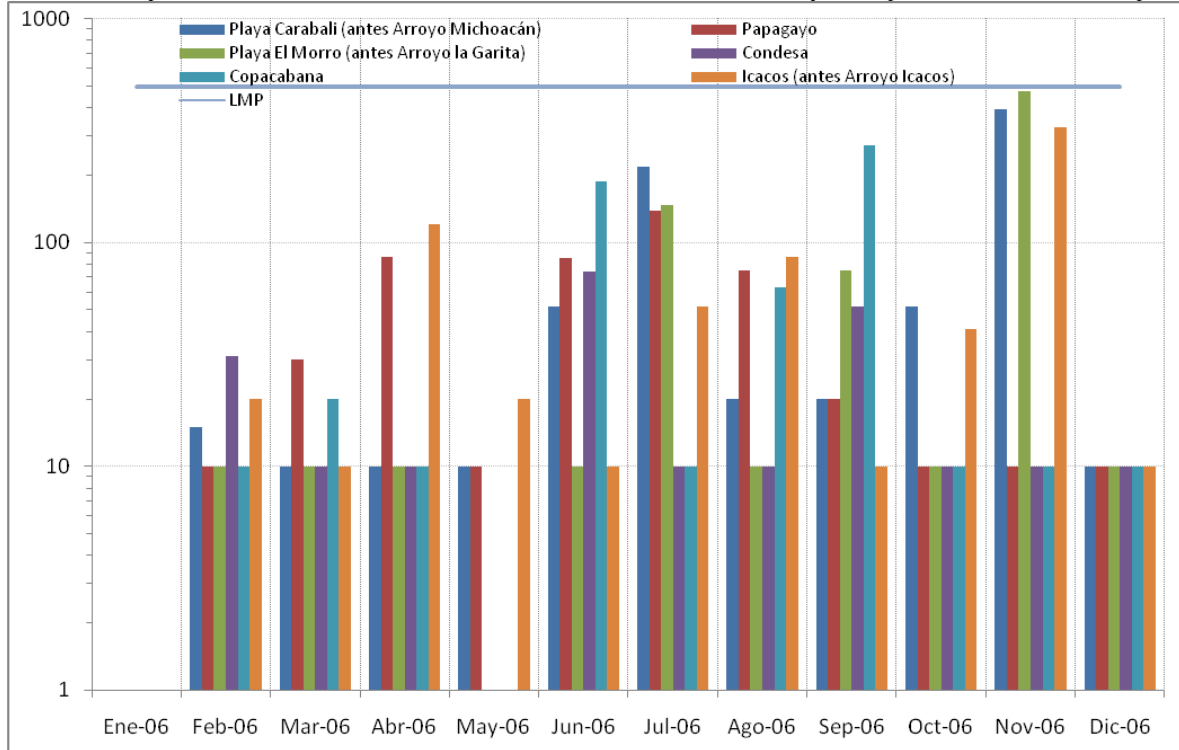
En ese mismo año, en las playas de Carabalí, Papagayo, La Diana, Condesa, Copacabana e Icacos, permanecieron con concentraciones por debajo de los 100 E.F. NMP/100mL durante todos los meses, a excepción de la playa Papagayo, en el mes de Diciembre, que tuvo un aumento y llegó a una concentración de 410 NMP/100mL E.F.

Gráfica 38. Comportamiento de las concentraciones de Enterococos fecales en las Playas Limpias SEMARNAT, 2006 parte 1.



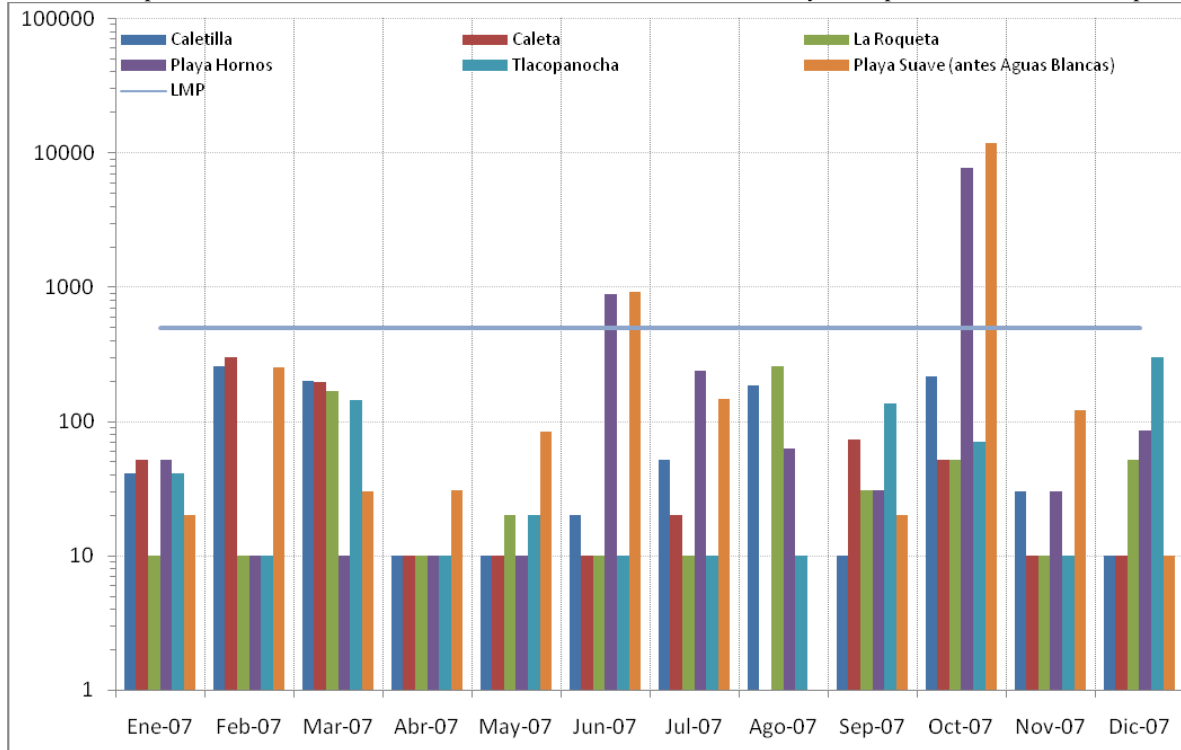
En 2006, la playa de Caletilla 2 ocasiones rebasó el LMP de 500 Enterococos fecales NMP/100mL para uso recreativo y contacto primario, así como varias playas estuvieron cerca del límite de, como es el caso de Caletilla en Abril y Noviembre, Caleta en Mayo, Junio y Septiembre, Tlacapanocha en Julio.

Gráfica 39. Comportamiento de las concentraciones de Enterococos fecales en las Playas Limpias SEMARNAT, 2006 parte 2



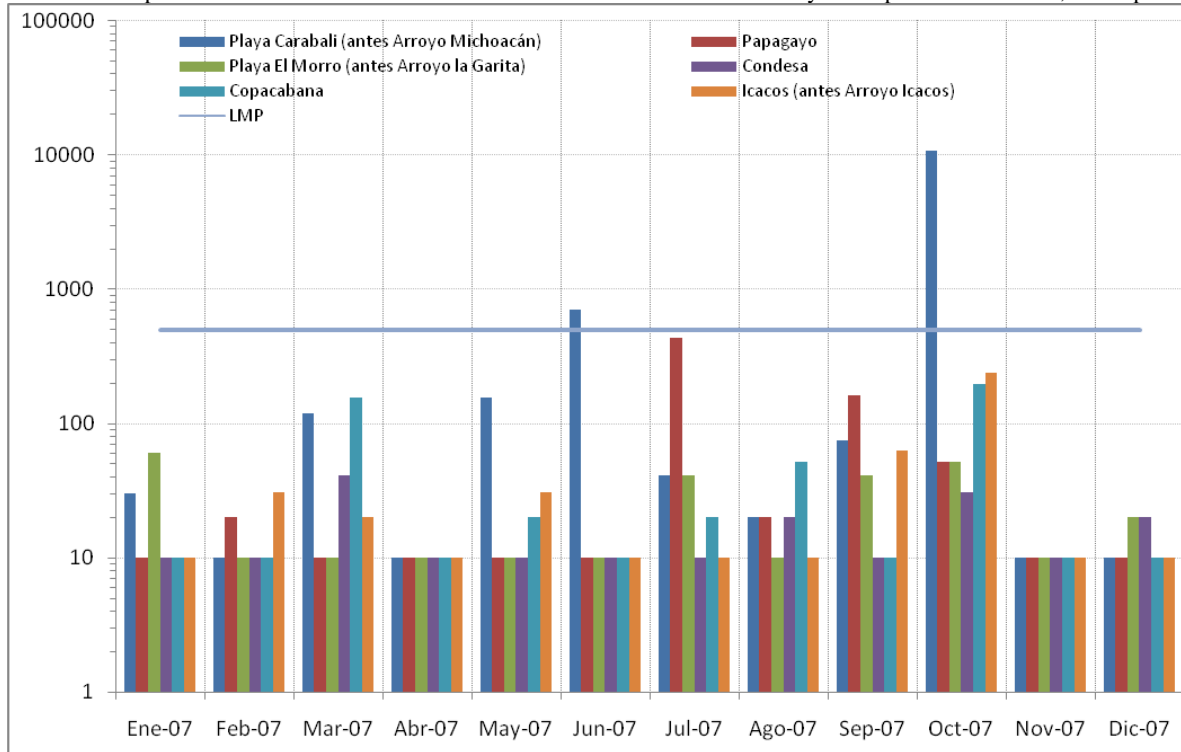
En este mismo año 2006, solo tres playas en el mismo mes de Noviembre alcanzaron concentraciones que se acercaron al LMP de 500 E.F. NMP/100mL, las cuales fueron, Carabalí, la Diana e Icacos. Mientras que en su mayoría las demás playas a lo largo del año pudieron mantenerse por debajo del límite de los 100 E.F. y solo Copacabana en Septiembre, la Diana, Papagayo y Carabalí en Julio, Copacabana en Junio, e Icacos en Abril pudieron sobrepasar este límite sin llegar a acercarse al LMP.

Gráfica 40. Comportamiento de las concentraciones de Enterococos fecales en las Playas Limpias SEMARNAT, 2007 parte 1.



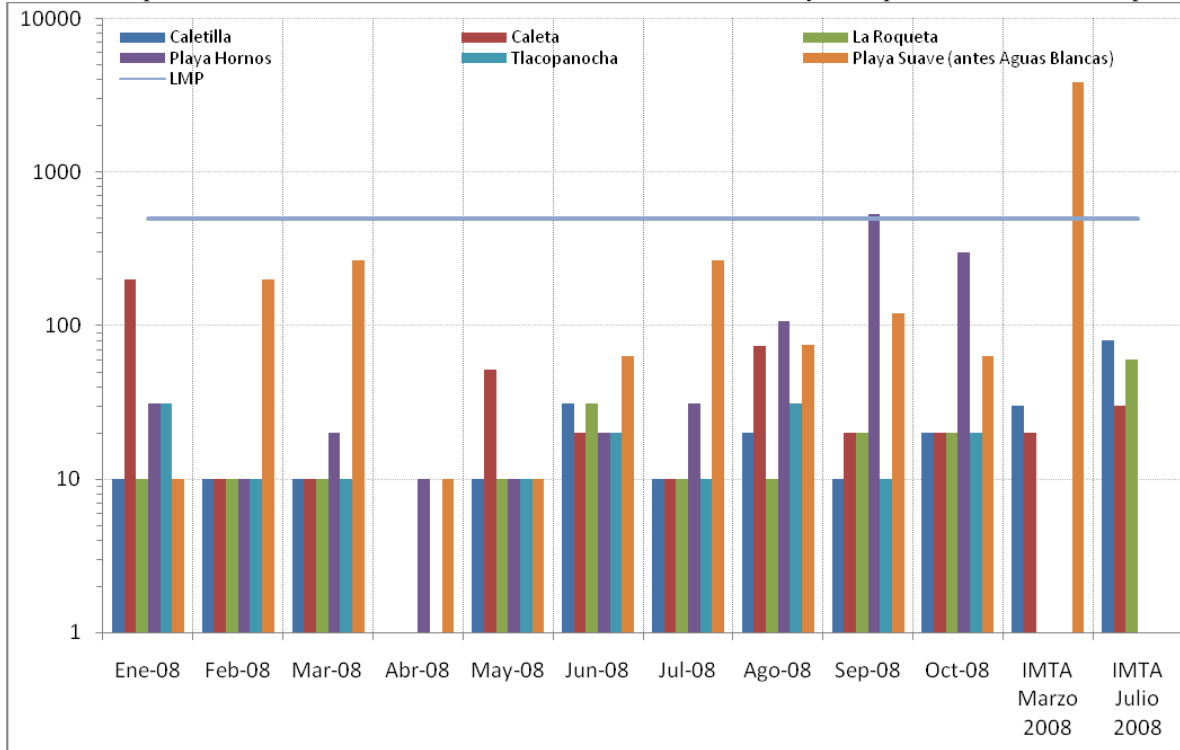
En el año 2007, las playas Hornos y Suave en los meses de Junio y Octubre, sobrepasaron el LMP de 500 E.F. siendo la segunda ocasión en el mes de Octubre la más grave, ya que estas concentraciones fluctuaron entre los 7700 y los 11000 E.F. NMP/100mL. En cambio ocurrieron eventos en los cuales algunas playas sobrepasaron el límite de los 100 E.F. en varios meses sin alcanzar el LMP, como fue el caso de Caleta, Caletilla e Icacos en Febrero, Caleta, Caletilla, Roqueta y Tlacopanocha en Marzo, Hornos y Playa Suave en Julio, Caletilla y Roqueta en Agosto, Tlacopanocha en Septiembre, Caletilla en Septiembre, Playa Suave en Noviembre y Tlacopanocha en Diciembre, todas ellas sin representar un elevado riesgo por contacto con sus aguas.

Gráfica 41. Comportamiento de las concentraciones de Enterococos fecales en las Playas Limpias SEMARNAT, 2007 parte 2.



También en el año 2007, solo dos veces la playa Carabalí, sobrepasó el LMP de 500 E.F. NMP/100mL en los meses de Junio y Octubre, representando un riesgo sanitario para el uso recreativo y de contacto primario, además solo la playa Papagayo en el mes de Julio, se aproximó al LMP. En algunos eventos otras playas superaron el límite de los 100 E.F. NMP/100mL, pero sin aproximarse al LMP, como fue el caso de Carabalí y Copacabana en Marzo, Carabalí en Mayo, Papagayo en Septiembre y Copacabana e Icacos en Octubre.

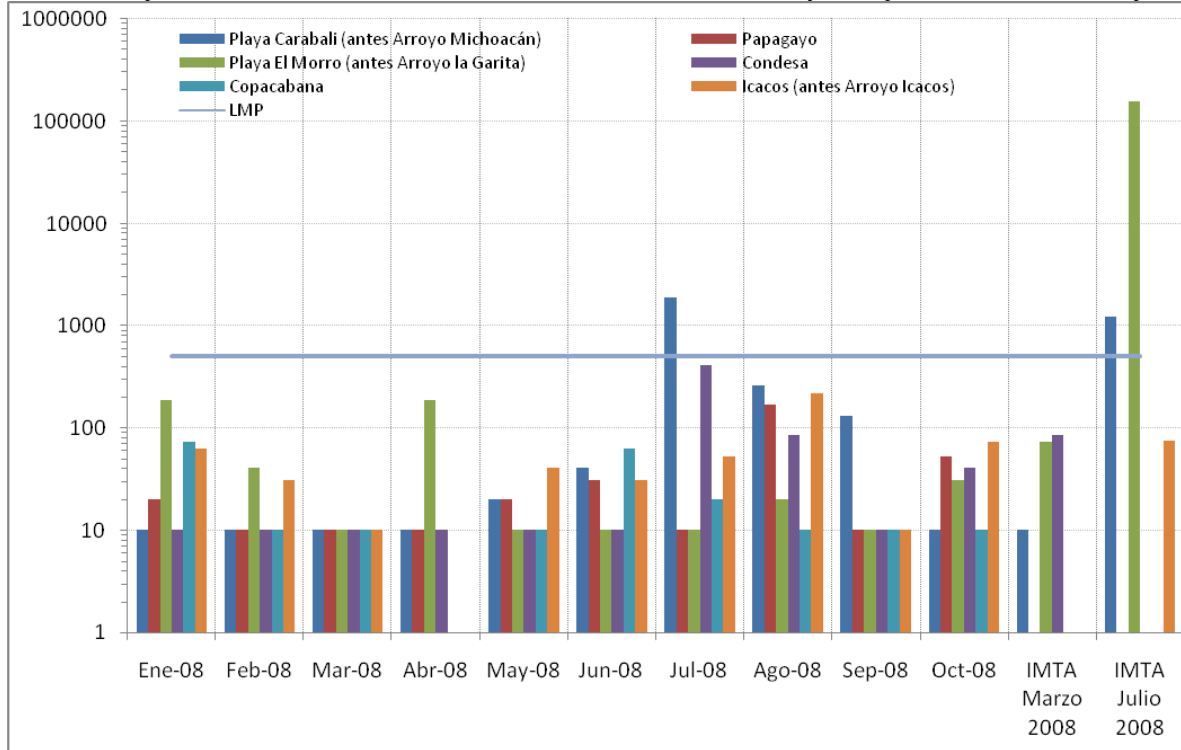
Gráfica 42. Comportamiento de las concentraciones de Enterococos fecales en las Playas Limpias SEMARNAT, 2008 parte 1.



En el 2008, se pudo observar que de acuerdo con los datos de la SEMARNAT, en el mes de Septiembre la playa Hornos, sobrepasó el LMP de 500 Enterococos fecales NMP/100mL, representando con esto un riesgo sanitario para el uso recreativo y contacto primario. De estos datos podemos observar también que ocurrieron eventos en algunas playas que elevaron la concentración de Enterococos fecales por arriba del imite de 100 NMP/100mL pero sin acercarse demasiado al LMP, como fue el caso de Caleta en Enero, Playa Suave en Febrero, Marzo, Julio y Hornos en Octubre. En cambio de acuerdo con los resultados obtenidos en el muestreo del mes de Marzo se pudo medir una concentración de más de 3800 E.F. NMP/100mL el cual sobrepasa con mucho el LMP para aguas con uso recreativo y de contacto primario, mientras que para el mismo mes, las playas de Caletilla y Caleta tuvieron una concentración por debajo de 30 E.F. NMP/100mL. En el segundo muestreo, del mes de Julio las playas de Caletilla y La Roqueta se acercan un poco más al límite de los 100 E.F. NMP/100mL aun sin representar un riesgo potencial significativo.



Gráfica 43. Comportamiento de las concentraciones de Enterococos fecales en las Playas Limpias SEMARNAT, 2008 parte 2.



En este mismo año, solo la playa Carabalí sobrepaso el LMP de 500 E.F. NMP/100mL, representando con ello un riesgo sanitario para uso recreativo y contacto primario, mientras que la playa La Diana en Enero y Abril sobrepasan el límite de los 100 E.F, Carabalí, Papagayo e Icacos en Agosto y Carabalí en Septiembre sin representar un riesgo significativo a la salud debido al uso recreativo. En el mes de Julio, la Condesa, fue la playa que presentó valores cercanos al LMP de 500 E.F. Ahora bien, de acuerdo con los datos de este estudio en el mes de Marzo, la playa La Diana y la Condesa tienen concentraciones de Enterococos fecales próximos al límite de 100E.F. NMP/100mL. Mientras que en el mes de Julio, coinciden los resultados de Carabalí los cuales sobrepasan el LMP de 500 E.F. NMP/100mL en este muestreo con una concentración de 1220 NMP/100mL, mientras que en los datos de SEMARNAT tiene una concentración de 1870 NMP/100mL, en la playa de La Diana en el mes de Julio la concentración cuantificada fue de 155000 NMP/100mL, a diferencia del resultado que reporta SEMARNAT. En ambos resultados de la playa Icacos, coincide la concentración reportada por el IMTA y SEMARNAT.

## 8.- Conclusiones

Se realizó la evaluación del transporte y movilización del Nitrógeno, Fósforo y organismos patógenos (Coliformes fecales y Enterococos fecales) mediante el empleo del modelo GWLF. Así mismo, se evaluó el impacto potencial que los aportes provenientes de los escurrimientos de cuatro microcuencas tienen sobre la calidad del agua en la bahía de Acapulco.

Actualmente, los arroyos que cruzan la cuenca del anfiteatro en las partes altas son utilizados como vertederos de desechos sólidos y de aguas residuales, que finalmente son descargadas en la bahía. En esta zona y debido a los problemas socioeconómicos, técnicos y financieros del organismo Operador, prácticamente no existe red de conducción de aguas residuales hacia una planta de tratamiento. De esta manera, recibe grandes cantidades de nutrientes, sólidos y organismos patógenos, los cuales representan un alto riesgo sanitario para los bañistas que hacen uso de estas aguas con fines recreativos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la bahía de Acapulco recibe un aporte anual de nitrógeno y fósforo de 890 y 240 toneladas respectivamente derivadas principalmente de las descargas difusas, las cuales en este caso están representadas por las descargas de aguas residuales en la cuenca Aguas Blancas. A pesar de que este flujo no se encuentra en el área de estudio, para fines de modelación se consideró que dicho aporte se encuentra dentro de la zona de estudio y es exportada hacia el oeste, fuera de los límites de la cuenca. Los sistemas sépticos son la segunda fuente de aporte de nitrógeno a la bahía, ya sea por escurrimientos sobre el cauce de los arroyos o por infiltración debido al mal estado de la infraestructura hidráulica sanitaria. El aporte de fósforo proviene de los sistemas sépticos y el arrastre de los bancos de materiales debido a la erosión, y representan más del 95% del aporte total de fósforo a la bahía.

En las playas de la bahía se encuentran instalados gran cantidad de comercios formales, los cuales en su mayoría cuentan con un sistema de recolección de aguas residuales que se encuentra en malas condiciones. Además, hay que considerar los residuos sólidos generados en estos establecimientos y por el comercio informal, de los cuales una proporción es vertida directamente a la bahía y las playas debido principalmente a la falta de recolección.

La ciudad y puerto de Acapulco tiene tres temporadas altas de afluencia turística: Abril, Julio y Diciembre, los cuales coinciden con los periodos vacacionales tanto nacionales como internacionales y con el inicio de la temporada de lluvias. Por otra parte, durante casi todo el año se puede observar el arribo de embarcaciones internacionales turísticas, que traen consigo una importante demanda de servicios turísticos, económicos y sanitarios.

La bahía también recibe el aporte de material sólido debido a la erosión, pérdida de suelo y escurrimiento principalmente generado por la cuenca del arroyo Camarón. La parte norte de esta cuenca se encuentra delimitada por el Parque Natural “El Veladero”, que actualmente está siendo invadido por el crecimiento irregular de la zona urbana y que no cuentan con servicios de urbanización.

De acuerdo con el resultado de la modelación de coliformes fecales, la cuenca del arroyo Aguas Blancas es la que presenta el mayor aporte ya que en esta zona se encuentra la mayor concentración de aguas provenientes de los servicios sanitarios del anfiteatro

El aporte generado por animales de granja y vida silvestre así como el aporte del área urbana presenta un comportamiento que está asociado al régimen hídrico (secas y lluvias), alcanzando en los meses de Agosto y Septiembre las mayores concentraciones debido al lavado de las cuencas.

Para la modelación, se consideró que las unidades de concentración de los organismos patógenos (UFC y NMP) se pueden emplear indistintamente, aunque al analizar los resultados de calidad microbiológica en las campañas de muestreo de los escurrimientos de los arroyos, y al compararlas con los datos calculados por el modelo, se puede observar que existe una diferencia notable en el valor de las concentraciones, a pesar de que el comportamiento es muy similar y refleja el arrastre de material orgánico en el cual estos organismos están presentes. Se recomienda llevar a cabo más pruebas para verificar si es correcto el empleo indistinto de las unidades de concentración o si es necesario efectuar algún ajuste en los algoritmos del modelo a fin de poder emplear otro tipo de unidades de concentración para futuros estudios, ya que de acuerdo con la bibliografía nacional e internacional revisada, actualmente no se puede asegurar que entre estas dos unidades de concentración exista alguna proporción verificable o establecida para poder hacer el uso indistinto de cualquiera de las dos.

En el primer muestreo se encontraron puntos de máximas concentraciones para los Coliformes fecales en las desembocaduras de los arroyos Aguas Blancas y La Garita. Las playas de Caletilla, La Condesa y Aguas Blancas ( $1.10 \cdot 10^3$ ,  $4.60 \cdot 10^2$  y  $1.50 \cdot 10^2$  respectivamente) son las que presentan las mayores concentraciones. En el caso específico de la bahía, la estación E8 y frente a las playas de Aguas Blancas ( $2.40 \cdot 10^2$  y  $4.60 \cdot 10^2$  respectivamente) son las de mayor concentración. En las estaciones situadas frente al Club de Yates, el Malecón, playa Hamacas, Playa Hornos, El Camarón, Michoacán, Diana, Condesa, Copacabana y El Secreto las concentraciones son relativamente menores ( $2.30 \cdot 10^1$ ,  $7.50 \cdot 10^1$ ,  $2.10 \cdot 10^1$ ,  $2.10 \cdot 10^1$ ,  $2.10 \cdot 10^1$ ,  $7.00 \cdot 10^0$ ,  $4.00 \cdot 10^0$ ,  $4.00 \cdot 10^0$  y  $<3.00 \cdot 10^0$  respectivamente).

En los tres arroyos se presentó un incremento en la concentración de Coliformes fecales en comparación con el mes de Marzo (4 coliformes fecales NMP/100mL) y alcanzaron concentraciones que van hasta órdenes de magnitud de  $1.10 \cdot 10^7$  en el arroyo El Camarón. En el caso de los Enterococos fecales, se presentó para los tres arroyos un incremento no tan marcado como en el caso de los coliformes fecales, pero si manteniéndose en órdenes de magnitud que van desde  $1.93 \cdot 10^3$  hasta  $9.8 \cdot 10^4$ .

Se observó un incremento de las concentraciones de Coliformes fecales en la totalidad de las estaciones de playa previo a un periodo de afluencia turística. Los valores máximos se presentan en el mes de Julio, que coincide con el periodo de mayor afluencia turística y alcanza concentraciones máximas en las playas de Caleta, La Diana, Hyatt y Caletilla ( $1.30 \cdot 10^3$  hasta  $2.42 \cdot 10^4$  Coliformes fecales NMP/100mL).

Para los Enterococos fecales en el mes de Marzo, solo la playa de Aguas Blancas presenta una concentración superior al límite de 500 Enterococos fecales NMP/100mL (3870 NMP/100mL). La mayoría de las playas no presentan una concentración superior a 100 Enterococos fecales NMP/100mL. En el segundo muestreo en el mes de Julio, la playa La Diana presenta una concentración máxima de  $1.55 \cdot 10^5$  Enterococos NMP/100mL, seguida de la playa Michoacán con  $1.22 \cdot 10^3$ , mientras que las demás conservan concentraciones con valores por debajo de un orden de magnitud  $1.0 \cdot 10^2$ .

En la bahía, se presentan las máximas concentraciones de Coliformes fecales en las estaciones E13 y E8 con  $4.60 \cdot 10^2$  y  $2.40 \cdot 10^2$  respectivamente durante el primer muestreo. En el segundo muestreo son las estaciones E6, E8 y E20 las que presentan las máximas concentraciones ( $3.28 \cdot 10^3$ ,  $9.32 \cdot 10^2$  y  $7.52 \cdot 10^2$  coliformes fecales NMP/100mL respectivamente). En el caso de los Enterococos fecales, en el primer muestreo ninguna de las estaciones sobrepasa los 100 NMP/100mL, siendo hasta el segundo muestreo en las estaciones E20, E22 y E10 en donde se registraron las máximas concentraciones ( $2.42 \cdot 10^4$ ,  $8.60 \cdot 10^2$  y  $2.26 \cdot 10^2$  NMP/100mL respectivamente)

Para el nitrógeno total, no se registraron concentraciones superiores a 3.2mg/L en ninguno de los dos arroyos. En el segundo muestreo, el arroyo El Camarón presenta una concentración máxima de 55.60mg/L, mientras que los arroyos de Aguas Blancas y La Garita se mantuvieron por debajo de

6.3mg/L. En las estaciones de bahía, todas registraron concentraciones menores al límite de cuantificación del laboratorio analítico (1.2mg/L) durante los dos muestreos.

El fósforo total presentó la máxima concentración (2.13mg/L) durante el segundo muestreo en el arroyo El Camarón, seguido por el arroyo de La Garita (1.40mg/L). Durante el primer muestreo la concentración máxima se registró en el arroyo Aguas Blancas (0.5mg/L), mientras que en el arroyo La Garita se mantuvo ligeramente por debajo de esta concentración (0.44mg/L). En la bahía, el fósforo no presentó concentraciones superiores al límite de cuantificación del laboratorio y se mantuvo por debajo de 0.0186mg/L en todas las estaciones en el primer muestreo. Sin embargo, en el segundo muestreo se presentaron algunas estaciones que registraron concentraciones que van de los 0.02mg/L hasta 0.05mg/L.

Al superponer la información de las tres matrices (arroyo, playa y bahía) y considerando los Coliformes fecales y Enterococos fecales para ambos muestreos, se observa que existen zonas en las cuales hay una marcada influencia de las descargas de los arroyos sobre la calidad microbiológica de las playas y de la bahía. En el primer muestreo, las zonas con afectación importante por presencia de Coliformes fecales son las playas de Caleta, Aguas Blancas, La Garita o La Diana, Condesa y la estación E8, que se difunde por la línea costera frente a las playas del club de yates y hasta antes de la playa Aguas Blancas.

Durante el segundo evento las zonas de mayor afectación se encuentran en las playas de Caletilla, El Camarón y La Garita. Así mismo, se reporta una menor afectación en las playas de Roqueta, Aguas Blancas, Condesa, Hyatt y la Base Naval.

Los Enterococos fecales también presentaron un comportamiento de ese tipo, teniendo influencia sobre la calidad microbiológica del agua en el primer muestreo en Canal Bocachica, Aguas Blancas, La Garita y El Secreto. También se pueden ver afectaciones en menor grado sobre Roqueta, Caletilla, Muelle, Copacabana y Hyatt. Durante el segundo muestreo, las zonas con altas concentraciones de Enterococos fecales son Aguas Blancas, La Garita y Hyatt, y en menor medida en la Base Naval y la playa Michoacán.

Con la aplicación de los modelos LOICZ y ASSETS se pudo estimar el grado de afectación y susceptibilidad del estado trófico de la bahía. Estos modelos fueron calibrados con datos obtenidos de los dos muestreos en los meses de Marzo y Julio de 2008. De acuerdo con los resultados obtenidos, se considera que la bahía tienen un índice moderadamente alto del estado trófico, el cual está caracterizada por un bajo potencial de dilución y un potencial de flujo moderado, con un nivel moderado de entrada de nutrientes.

El sistema tiene bajos síntomas primarios, bajas concentraciones de clorofila a y se presentan síntomas secundarios, como la presencia de algas tóxicas y nocivas como la floración esporádica de marea roja y marrón. Con estas condiciones, el modelo nos presenta una perspectiva a mediano plazo de la condición trófica de la bahía, la cual no indica un favorecimiento en el aumento de las condiciones tróficas del sistema, sino que se mantiene una condición estable a pesar de la presión de factores urbanos.

Con estos resultados, se cumplen los objetivos de evaluar el aporte de nutrientes de los escurrimientos de cuatro microcuencas, una de las cuales (microcuenca Aguas Blancas) es la que mayor impacto tiene sobre la calidad del agua de la bahía de Acapulco. De acuerdo con la modelación propuesta, en esta cuenca se pueden apreciar algunos síntomas de alteración en el sistema trófico tal como presencia de organismos asociados a un desequilibrio en las proporciones estequiométricas de nitrógeno y fósforo principalmente, el cual puede favorecer episodios de floraciones de especies de algas tóxicas.

De igual forma se observa que durante la temporada de lluvias, a través del lavado de las cuencas y del arrastre de material hacia la desembocadura de los cauces en la bahía, se presenta el mayor impacto

sobre la calidad del agua en las zonas costeras, elevando en forma significativa el riesgo sanitario para el uso recreativo de las mismas.

De acuerdo con la información analizada en esta tesis, se concluye que la bahía de Santa Lucía sufre un fuerte impacto en la calidad del agua, debido principalmente a los aportes de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y de microorganismos patógenos (Coliformes fecales y Enterococos fecales) provenientes de la cuenca y que son transportados a través de los escurrimientos de las aguas residuales vertidas en los cauces de los principales arroyos e infiltradas desde la red de conducción de la ciudad. Este aporte se incrementa en la temporada de lluvias y propicia que durante algunos periodos la calidad microbiológica de algunas playas (Aguas Blancas, El Camarón, La Diana) presente un riesgo sanitario para uso recreativo y de contacto primario.

A pesar de estas condiciones merman notablemente la calidad del agua de la bahía durante periodos estacionales, la bahía tiene la capacidad de asimilar y fijar estas cargas de nutrientes, amortiguando parcialmente el aumento del proceso de eutrofización del cuerpo receptor.

Es necesario implementar un plan de rehabilitación del sistema de colección de aguas residuales, a fin de minimizar el aporte de nutrientes y organismos patógenos por pérdida de flujo durante la conducción de las mismas hacia un sistema de tratamiento de aguas residuales que garantice el tratamiento de este afluente, así como de los residuos sólidos generados en la cuenca, ya que estos actualmente son vertidos y depositados clandestinamente en los principales cauces de los arroyos, los cuales tienen como destino final, la bahía de Santa Lucía.

Con estas acciones se puede disminuir el impacto sobre la calidad del agua de la bahía con fines recreativos y de contacto primario, cumpliendo con esto la reglamentación que actualmente se encuentra vigente en nuestro país para protección de la vida acuática y para protección contra riesgos sanitarios debido al uso recreativo que tiene esta zona costera, que es de gran interés socioeconómico como lo es la bahía de Acapulco, a fin de mejorar a mediano plazo las condiciones en las que se encuentra actualmente.

Es necesario efectuar un monitoreo más estricto de los afluentes naturales a la bahía, de forma más periódica a fin de generar información más fiable acerca de la calidad microbiológica del agua y prevenir posibles eventos infecciosos debido al uso recreativo y de contacto primario. Es importante que esta información sea accesible al público en general, ya que actualmente la información a la cual que se puede acceder es escasa y no concuerda con la obtenida entre varias instituciones encargadas de monitorear la calidad del agua de la bahía así como de la infraestructura de hidráulica de recolección de aguas residuales (Semarnat, Secretaría de Salud, Conagua, Inegi, Capama).

## 9.- Referencias

1. *Vladimir Novotny, Harvey Olem*; Water Quality, Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution; Van Nostrand Reinhold, NY, (1994).
2. *Culley, J. L. B. & Phillips, P. A.*; Bacteriological quality of surface and subsurface runoff from manured sandy clay loam soil. *J. Environ. Qual.* 11, 155–158. (1982).
3. *Cabelli, V.J.* Health effects criteria for marine recreational waters. Research Triangle Park, USEPA. 98 p. EPA-600/1-80-031. (1983).
4. *Salas, Henry J.*; Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS); Noviembre (2000).
5. Guidelines for Managing, Risks in Recreational Water; Australian Government - National Health and Medical Research Council; Published February (2008).
6. *Warfield Corina, Rus Juanito, Hart Ian, and Bode Goldman Josh*; Improving coastal water quality in México; School of Public Policy University of California, Berkeley, (2004).
7. *Evans, Barry M.; Scott A Sheeder y Kenneth J. Conrradi*; AVGWLF User's Guide, version 6.3, Penn State Institute of Environment, The Pennsylvania State University. (2006).
8. Evaluación de la contaminación difusa en la Cuenca del río Lerma, cuenca baja; Informe Final; Coord. de Tratamiento y Calidad del Agua, Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental.
9. *Kite, G. W., P. Droogers.* Integrated Basin Modelling. Research Report 43, International Water Management Institute, Colombo. (2000).
10. *Emmanuel E. and Azaël A.*; Les eaux usées et le développement économique en Haïti : crises et réponses. Actes de la Conférence Internationale de l'UNESCO 3-6 juin 1998 « l'eau : une crise imminente, UNESCO PHI, ed. Zebidi, Technical Documents in Hydrology no. 18, pp. 279-285. (1998).
11. *Dyer S.D., Peng C., McAvoy D.C., Fendinger N.J., Masscheleyn P., Castillo L.V., Lim J.M.U.* The influence of untreated wastewater to aquatic communities in the Balatium River, the Philippines. *Chemosphere*, 52:43-53. (2003).
12. *Rivière J-L.*; Évaluation du risque écologique des sols pollués. Association RE.C.O.R.D., Lavoisier Tec&Doc, Paris, 230p. (1998).

13. *Razafindradrandra Y. and Seveque J.L.*; Sites pollués et potentiellement pollués. Identification et contrôle juridique et technique. Collection Environnement. Paris, Victoires Editions, 256 p. (1998).
14. *Díaz Lezcano, Maura Isabel*; Modelización de la contaminación difusa por nitratos en las aguas subterráneas de la cuenca del río Henares. Ingeniería Forestal / E.T.S.I. Montes (UPM). (2007).
15. *Aguilar Porro, Cristina*; Modelado de la contaminación por herbicidas en zonas de olivar bajo diferentes alternativas de manejo de suelo; Grupo de hidrología e hidráulica agrícola, Depto de Agronomía, ETSIAM; Universidad de Córdoba, España.
16. *Canatário, L. Mateos, E. Fereres*; Aplicación del modelo AnnAGNPS a una cuenca agrícola de riego para el análisis espacial y temporal de la escorrentía y los contaminantes; Departamento de Agronomía, U.C.O., Campus Universitario de Rabanales, Córdoba España.
17. *Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos*; Estudio de la Calidad del Agua de la Bahía de Acapulco Gro.; Centro de Estudios Ecológicos de Acapulco. (1979).
18. INEGI, II Censo de Población y Vivienda. (2005).
19. Secretaría de Fomento Turístico del Gobierno del Estado de Guerrero; Dirección de Estadística.
20. Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal, Subgerencia Técnica; Depto. de Saneamiento y Calidad del Agua, (2005).
21. Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal. Subgerencia de Administración del Agua. Area de Titulación.
22. Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal, Subgerencia de Infraestructura Hidráulica, Urbana y Rural.
23. *Castillo, G., Bernard, D. y Rodney, M.*, Ecotoxicidad en Aguas Superficiales y Sedimentos, 9p., (2006).
24. Comisión de Agua Potable del Municipio de Acapulco, Proyecto de Saneamiento Integral de la Bahía de Acapulco, Barranca, Ríos y Lagunas, (2006).
25. Ley Federal de Derechos (Disposiciones aplicables en materia de Aguas Nacionales); Preceptos aplicables a las Aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes; publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13/Dic/2008.
26. CONAGUA e IMTA., Seguimiento al Estudio de calidad del Agua de la Bahía de Acapulco, Informe Final, 98p., (2000).

27. <http://www.aca-novenet.com.mx/portada/250604/24SINT.html>
28. [http://www.acapulco.gob.mx/dependencias/desarrollo\\_urbano/ecologia/index.html](http://www.acapulco.gob.mx/dependencias/desarrollo_urbano/ecologia/index.html)
29. CONAGUA e IMTA., Estudio de Calidad del Agua y Evaluación del Impacto sobre su Uso en la Bahía de Acapulco, Informe Final, 80p., (2002).
30. Weatherbase (ed.); Weatherbase: Historic weather for Acapulco, México; Consultado el 15 de febrero de 2008.
31. Secretaría de Salud. Lineamientos para determinar la calidad del agua de mar para uso recreativo con contacto primario. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. México (2004).
32. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración ISO/TEC 17025:2005.
33. NMX-AA-003-1980, Aguas residuales – muestreo.
34. NMX-AA-115-SCFI-2001, Análisis de Agua – Criterios Generales para el Control de la Calidad de Resultados Analíticos.
35. U.S.E.P.A. Science Ecosystem Support Division Region 4, Environmental Investigations Standard Operating Procedures and Quality Assurance Manual, Athens, Georgia, USA, 1996.
36. WRRRC. Manual de Campo para el Muestreo de la Calidad del Agua, Water Resources Research Center, Arizona Department of Environmental Quality (ADEQ). Tucson, Arizona. Marzo 1995, 57 pp.
37. NOM 001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.
38. NMX-AA-012-SCFI-2001, Análisis de Agua –Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
39. NMX-AA-007-SCFI-2000, Análisis de Agua – Determinación de Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
40. NMX-AA-008-SCFI-2000, Análisis de Agua – Determinación de pH - Método de Prueba.
41. NMX-AA-093-SCFI-2000, Análisis de Agua – Determinación de Conductividad Eléctrica – Método de Prueba.



42. APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Washington, American Public Health Association, 1980, 20th ed., part 1060. Collection and preservation of samples.
43. International Organization for Standardization ISO-5667-3.
44. NMX-014-SSA1-1993, Procedimientos Sanitarios para el Muestreo de Agua para Uso y consumo Humano en sistemas de Abastecimiento de Agua Públicos y Privados.
45. Norma Técnica 360 que establece los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento públicos y privados. Secretaría de Salud, 1 de Julio de 1992.
46. IMTA PROCESO ESPECIAL 130, Sólidos Disueltos Volátiles, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed, 20, Sección 2540 Sólidos.
47. IMTA PROCESO ESPECIAL 165, Sólidos Suspendidos totales, Sólidos Disueltos Volátiles, Sólidos Totales, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed, 20, Sección 2540 Sólidos.
48. NMX-AA-029-SCFI-2001, IMTA PROCESO ESPECIAL 152, Ortofosfatos.
49. IMTA CAQAF6-61, Nitrógeno total.
50. NMX-AA-042-SCFI-1987, IMTA CAMB6-03, Coliformes Fecales.
51. IMTA CAMB6-17, Enterococos fecales.
52. NMX-AA-029-SCFI-2001, CAQAF6-21, Fósforo total.
53. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, Diario Oficial de la Federación, Miércoles 13 de diciembre de 1989.
54. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación; Gerencia de Potabilización y Tratamiento de la CONAGUA, 2006
55. Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua, CUBO de población, vivienda y agua.
56. CAPAMA, Dir. Operativa del Organismo Operador. (2008).
57. Compendio de Estadísticas Turísticas del Municipio de Acapulco de Juárez 2002 - 2006; Dirección General de Turismo Municipal; H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco de Juárez.

58. Datos Climatológicos de las Estaciones Stat#12142 y Stat#12208; Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua; (2008).
59. *S.B. Bricker, J.G. Ferreira, T. Simas*; An integrated methodology for Assessment of Estuarine Trophic Status; National Ocean Service - National centers for Coastal Ocean Science, Institute of Marine research – Centre for Ecological Modelling; May 2003.
60. *Redfield, Alfred C.*; On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. In James Johnstone Memorial Volume. (ed. R.J. Daniel). University Press of Liverpool, pp. 177-192, 1934.
61. *Falkowsky, Paul G.*; Rationalizing elemental ratios in unicelular algae; Environmental Biophysics and molecular Ecology Program, Institute of Marine and Coastal Science and Dept of Geology, Rutgers University; New Jersey – EUA; 2000.
62. *Redfield, A.C.*; The biological control of chemical factors in the environment. *Am, Sci*, 46.205-21; 1958.
63. *Kennish, M.J.*. Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects. Marine Science Series. Boca Ratón, Florida U.S.A. 1992
64. *Fraga Fernando*; Phytoplanktonic biomass synthesis: aplicacion to deviations from Redfield stoichiometry; Instituto de Investigaciones Marinas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Vigo España. 2001.
65. Mesozooplankton impacts on lower trophic levels from freshwater, marine and brackish systems in spring – a comparative study; Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität
66. *Ian S F Jones*; The Production of Additional Marine Protein by Nitrogen Nourishment, Ocean Technology Group; University of Sydney.
67. *Kana, T M., M.W. Lomas, H.L. MacIntyre, J.C. Cornwell, C.J. Gobler (2004)* Harmful Algae 3, 377-388.
68. *Morquecho-Escamilla, M.L.*. Fitoplancton tóxico y actividad de fitotoxinas en la almeja *Catarina Argopecten circularis* en Bahía Concepción, Golfo de California. Tesis Maestría Ciencias.CICIMARIPN.74 pp. 1996

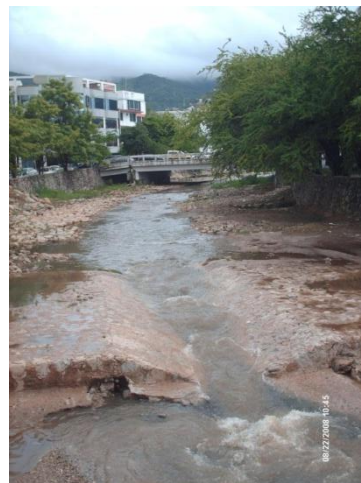
## **ANEXO FOTOGRAFICO**

Arroyo Aguas Blancas

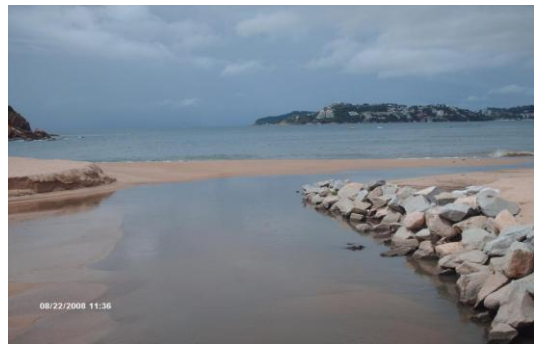


Arroyo El Camarón





Arroyo La Garita – La Diana



Arroyo Costa Azul



Playa Hyatt



Playa Copacabana



Playa La Garita - La Diana



Playa Papagayo



Playa Michoacán





Playa El Camarón



Playa Aguas Blancas



Playa Caleta



Playa Caletilla



Residuos sólidos y descargas en las playas y arroyos.







