



003613  
201

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**CONTAMINACION EXOGENA DE ORIGEN FECAL EN LA  
LAGUNA DE TAMIHUA, VERACRUZ Y SU INFLUENCIA EN  
TRES ESPECIES DE IMPORTANCIA COMERCIAL.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
(BIOLOGIA)**

**P R E S E N T A**

**GUADALUPE BARRERA ESCORCIA**

**DIRECTORES DE TESIS :  
DOCTOR CARLOS ROSAS VAZQUEZ - DOCTORA IRMA ROSAS PEREZ**

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**DEDICO ESTA TESIS A MIS HIJOS  
AIDEE E ISRAEL  
DESEO DECIRLES A USTEDES  
QUE SON MI FLECHA  
Y QUE HAY ESFUERZOS QUE VALEN LA PENA**

**A SERGIO POR SU APOYO  
YA QUE SIEMPRE CONTE CON EL  
SIN LA MENOR RESTRICCIÓN**

**A MI MADRE  
NO PODRIA SER MADRE E INVESTIGADORA  
SIN LA GENEROSIDAD CON QUE ELLA SE HA BRINDADO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a los directores de esta tesis: Doctores Irma Rosas Pérez y Carlos Rosas Vázquez; así como a los Doctores Guadalupe de la Lanza Espino, Alfonso Vázquez Botello, Víctor Manuel Luna Pabello y las Maestras en Ciencias Cecilia Vanegas Pérez e Irma Wong Chang, sinodales de esta tesis, por el valioso tiempo que dedicaron en las detalladas revisiones y los comentarios, gracias a los cuales el documento fue afinado, proporcionándole calidad. La especial y personal atención de directores y sinodales tiene un enorme peso en la formación de un estudiante de posgrado, para que este adquiera el nivel que se propone la Facultad de Ciencias.

Deseo expresar mi gratitud a la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, sin cuyo apoyo no hubiera sido posible realizar esta investigación, la cual fue completamente financiada con fondos de la universidad, con el apoyo de DIGICSA convenios, C89-01-0250, C90-01-0287 y CONACYT convenio clave P220CCOR892150, y se realizó totalmente en las instalaciones de la UAMI.

La participación de varios estudiantes ha sido determinante, ya que gracias a ellos fue posible realizar pesadas colectas y procesamiento parcial de material, a través de los años en que se desarrolló este trabajo. De manera que, de acuerdo al tiempo en que se incorporaron al proceso, deseo reconocer el trabajo de: Marysol Díaz J., Katy Juárez L., y Daniel Segura G.. Muy especialmente de los Hidrobiólogos Marina Martínez Figueroa, Pablo Jiménez Díaz y Josue Montes Leal, quienes realizaron servicio social en el proyecto, a quienes deseo reconocer por su esfuerzo y calidad humana.

Hago una mención especial de agradecimiento al Biol. Edmundo Ducoing Chahó, con quien se desarrolló en colaboración parte del proyecto, así como de los actuales colaboradores: Socorro Sobrino Figueroa, Irma Wong Chang, Xochitl Guzmán García, Fabiola Hernández Galindo y Fernando Saavedra Villeda, quienes han brindado muchas horas de trabajo dedicado y su amistad, que ha sido de gran valor para mí.

El alcance de un objetivo planteado a un plazo largo, como fue esta investigación, requiere en ocasiones del empuje moral de las personas que así demuestran que les importas, por eso deseo agradecer también a Luz Elena y Lilita Lara, su apoyo.

## INDICE

	pag.
<b>RESUMEN</b>	<b>2</b>
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>3</b>
<b>II OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
<b>III AREA DE ESTUDIO</b>	<b>7</b>
<b>IV MATERIALES Y METODOS</b>	<b>9</b>
<b>A. METODO DE CAMPO</b>	<b>9</b>
<b>B. METODO DE LABORATORIO</b>	<b>12</b>
<b>C. DETERMINACION DE LA CALIDAD SANITARIA</b>	<b>14</b>
<b>D. COMPARACION DE LAS CONCENTRACIONES BACTERIANAS</b>	<b>15</b>
<b>E. ANALISIS ESTADISTICO</b>	<b>16</b>
<b>V RESULTADOS</b>	<b>17</b>
<b>CALIDAD SANITARIA DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA</b>	<b>17</b>
<b>VARIACION DE LOS GRUPOS BACTERIANOS EN LA LAGUNA</b>	<b>21</b>
<b>RELACION DE LAS CONCENTRACIONES DE BACTERIAS CON     PARAMETROS FISICOQUIMICOS</b>	<b>28</b>
<b>CONTAMINACION MICROBIOLOGICA EN ESPECIES ACUATICAS     COMERCIALES</b>	<b>33</b>
<b>Contenidos bacterianos en el ostión <i>Crassostrea virginica</i>.</b>	<b>33</b>
<b>Contenidos bacterianos en la jaiba <i>Callinectes sapidus</i>.</b>	<b>35</b>
<b>Contenidos bacterianos en los peces <i>Mugil cephalus</i>.</b>	<b>39</b>
<b>VI DISCUSION</b>	<b>44</b>
<b>VII CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
<b>VIII BIBLIOGRAFIA</b>	<b>55</b>

## RESUMEN

Se realizó un análisis microbiológico en agua, sedimento y tres especies de importancia económica de la laguna de Tamiahua, Veracruz: ostión (*Crassostrea virginica*), jaiba (*Callinectes sapidus*) y lisa (*Mugil cephalus*), utilizando los indicadores: coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y estreptococos fecales (EF). Se determinó número más probable por la técnica de tubos múltiples, con el fin de evaluar la contaminación exógena de la laguna y estas tres especies. Se obtuvo la calidad sanitaria del agua y se describió el comportamiento temporal y espacial de los grupos de bacterias en el agua y el sedimento, así como su relación con algunos parámetros fisicoquímicos. En las especies, se determinaron concentraciones bacterianas y su posible relación con algunos aspectos morfológicos.

La laguna no presentó condiciones adecuadas para cultivo de moluscos, pero fue aceptable para recreación con contacto primario y protección de la flora y fauna acuáticas, de acuerdo a los criterios de calidad del agua vigentes en México. Las mayores concentraciones de bacterias coliformes se presentaron en estación de lluvias, tanto en agua de superficie, como en sedimento. La mezcla de agua en esta estación derivó en la alta correlación de los tres grupos analizados.

La laguna estuvo fuertemente contaminada en lluvias por CT, con concentraciones máximas (hasta  $10^4/100\text{ml}$  o g) frente al estero Tancochín y Boca de Corazones en agua y en sedimento en el oeste, sur y este de la isla del Idolo. Las estaciones de nortes y secas presentaron concentraciones menores ( $200$  y  $1000/100\text{ ml}$ ), con un máximo frente a Tancochín ( $10^4/100\text{ ml}$ ). Las concentraciones de bacterias CF, llegaron a  $1,000/100\text{ ml}$  frente a la Boca de Corazones y hasta  $200/100\text{ ml}$  frente al estero Tancochín en lluvias. En nortes, las localidades alcanzaron  $70/100\text{ ml}$ , y en secas  $14/100\text{ ml}$ , ubicándose alrededor de la isla del Idolo. El sedimento en lluvias alcanzó  $10^4\text{ CF}/100\text{g}$  frente a Tancochín y superó este valor al sur de la isla del Idolo. Los estreptococos en agua tuvieron un máximo de  $1,000/100\text{ ml}$  o g en agua al norte de la isla del Idolo y en la Boca de Corazones, y en sedimento frente a Tancochín y al oeste de la isla del Idolo. El noreste de la isla, sobrepasó las  $10,000\text{ EF}/100\text{g}$  en lluvias. Este grupo fue útil como indicador complementario de las coliformes, que manifestó la contaminación fecal en sitios donde no se registraron coliformes a pesar de no evidenciar estacionalidad.

Los tres grupos presentaron altas concentraciones en sitios de baja salinidad (10‰) en lluvias, lo que indica la influencia de los aportes de agua dulce y el arrastre de material particulado. La temperatura, se relacionó con CF en la estación de nortes en que las altas concentraciones se encontraron en el centro de la región de colecta y las temperaturas bajas en el norte ( $19.5^\circ\text{C}$ ).

El análisis en organismos indicó que la jaiba *Callinectes sapidus* y la lisa *Mugil cephalus* presentaron altas concentraciones ( $10^4\text{ CF}$  y  $\text{EF}$  en jaiba y  $10^5\text{ CF}/100\text{g}$  en lisa) en una alta proporción de organismos. En ostión *Crassostrea virginica* hubo valores por arriba de los permitidos en los grupos coliformes en secas y lluvias. En ostión y jaiba se caracterizó como de origen humano la contaminación en las colectas con mayores concentraciones de bacterias. En relación a aspectos morfológicos, las mayores concentraciones en ostión (de  $10^4$  a  $10^6\text{ CT}/100\text{g}$ ) se asociaron a organismos de peso bajo ( $15.5\text{ g}$  promedio). *Callinectes sapidus* no presentó correlación con aspectos morfológicos, aunque en términos generales las hembras estuvieron más contaminadas, al igual que en la lisa *Mugil cephalus*. En esta especie las concentraciones altas de CT se encontraron asociadas a organismos de mayor estado de madurez gonádica y mayor factor de condición en secas. La presencia de los indicadores utilizados en hemolinfa de jaiba y heces fecales de lisa, se considera de origen exógeno y un posible riesgo para ambas especies, que modifican sus hábitos alimenticios conforme se acerca la temporada de lluvias, en la cual aumenta el consumo de detritos.

## I INTRODUCCION

Tradicionalmente se ha considerado a la contaminación por agua residual como un problema de escala relativamente local (Campbell, 1987), cuyos efectos más evidentes se relacionan con el riesgo de adquisición de enfermedades por microorganismos. La contaminación fecal se asocia a la posible presencia de bacterias patógenas tales como *Salmonella typhi* y *S. paratyphi*, o especies patógenas para animales dentro de este género, así como bacterias del género *Shigella* y cepas patógenas de *Escherichia coli* (McJunkin, 1988); o de *Vibrio cholerae*, que recientemente ha adquirido enorme importancia por la pandemia originada en Perú, en 1991 (Fernández de Castro, 1991). Las bacterias fecales se consideran de riesgo sanitario para el hombre y para organismos asociados al agua contaminada. Así mismo, organismos que no son afectados por patógenos humanos pueden actuar como vectores de contagio.

La determinación de bacterias indicadoras de contaminación fecal permite evaluar el grado en que el agua ha sido contaminada por excretas humanas o animales terrestres de "sangre caliente" (McJunkin, 1988), por lo que su presencia en el agua puede considerarse como de origen exógeno.

Los indicadores mejor caracterizados pertenecen al grupo bacteriano entérico denominado coliformes (Rheinheimer, 1987). Este grupo se constituye por toda bacteria aeróbica y anaeróbica facultativa, gram negativa, no esporulada, en forma de bastón, que fermenta lactosa con formación de gas en 48 horas, a 35°C y se denomina coliformes totales (Pelczar *et al.*, 1982). Esta definición es más operativa, que taxonómica, porque el grupo incluye una amplia variedad de microorganismos que son, en su mayoría, aunque no exclusivamente, del grupo entérico bacteriano (Hood *et al.*, 1983). El grado de contaminación se interpreta a través de la concentración de bacterias /100 ml, y con ella se define la calidad sanitaria del agua enfocada a cierto uso. El grupo coliformes fecales, se constituye por bacterias coliformes capaces de crecer a 44.5°C, e incluye a aquellas provenientes de tracto digestivo exclusivamente (APHA, 1989).

Otro grupo indicador de uso menos frecuente es el de estreptococos fecales, que incluye varias especies patógenas, de origen fecal (humano y/o animal). Los estreptococos del grupo D de Lancefield son capaces de crecer en presencia de azida de sodio, fuerte inhibidor del crecimiento de bacterias coliformes (Dart y Stretton, 1977). Son utilizados como indicadores complementarios a las coliformes, por su marcada tolerancia a condiciones desfavorables (MERCK, 1982 a). Su tiempo de sobrevivencia es el doble del de coliformes fecales en aguas marinas. Los estreptococos fecales son inactivados en horas al entrar en contacto con el agua de cuerpos receptores y sobreviven en el ambiente unos cuantos días (Fujioka *et al.*, 1981).

La mortalidad de las bacterias entéricas en sistemas acuáticos se ha atribuido a diversos factores ambientales, se sabe, sin embargo, que en ocasiones solo son inactivadas; esto se considera producto de modificaciones estructurales y fisiológicas que permiten a las bacterias no formadoras de esporas permanecer vivas en un ambiente hostil, en un estado de letargo (Colwell *et al.*, 1985). La sobrevivencia de este tipo de bacterias se relaciona con la existencia de microambientes protectores, constituidos principalmente por material particulado que, como se ha demostrado *in vitro*, puede prolongar la supervivencia de bacterias fecales y soportar su crecimiento en ausencia de otros organismos competidores (Gerba y MacLeod, 1976). De hecho se sugiere que el sedimento provee un ambiente favorable para la sobrevivencia de microorganismos fecales en agua dulce y marina (Davies *et al.*, 1995).

Existe por tanto otro riesgo asociado a estas bacterias como puede ser el deterioro de comunidades microbianas naturales frente a los aportes domésticos. Las aguas residuales de este tipo tienen asociada una comunidad específica (Campbell, 1987) diferente de la natural. Desde los puntos de emisión de agua residual las microcomunidades varían, desde poblaciones con pocas especies, dominantes, relacionadas a la contaminación fecal, hasta una microflora normal; de modo que la contaminación microbiológica derivada de aportes continuos, no solo tiene efectos sanitarios, sino que podría tener impactos determinantes para otras especies, particularmente las bentónicas (Bellan, 1980).

La evaluación de la contaminación fecal en un ambiente, requiere de un análisis más complejo que el exigido en los criterios de calidad sanitaria. Deben ser evaluados agua, sedimento y organismos, que a su vez no solo requieren de un control sanitario, sino de la evaluación de los posibles efectos asociados a la exposición continua de esta forma de contaminación, tal es el caso del ostión, que puede acumular bacterias por ser un organismo detritivo, filtrador de hábitos sedentarios (Dutka, 1979). En el caso de encontrarse en contacto con grandes cantidades de bacterias en el sedimento o el alimento, la capacidad de filtración del ostión puede ser rebasada, de manera que tiende a cerrar las valvas y suspende su alimentación (Loosanoff y Engle, 1947).

El análisis de coliformes fecales en ostión, es una prueba de calidad sanitaria de uso generalizado y se evalúa como alimento debido a que se consume principalmente crudo (Hood *et al.*, 1983), pero existen otras especies acuáticas cuyos hábitos de vida implican también una íntima relación con el sedimento; tal es el caso de crustáceos, como las jaibas, o de peces detritívoros, que se analizan tradicionalmente por la calidad sanitaria de los tejidos de principal consumo como lo es el músculo, en relación al control o manejo que se da durante su captura y distribución comercial.

Sin embargo, la presencia de altas concentraciones de bacterias en el agua puede afectar a algunos crustáceos. Durante mucho tiempo, la hemolinfa se consideró un tejido estéril (Tubiash *et al.*, 1975). Algunos estudios sobre bacteremia por *Vibrio* spp. en hemolinfa de la jaiba *Callinectes sapidus*, revelaron incidencia de infecciones bacterianas hasta en un 95% de los ejemplares obtenidos por métodos comerciales, respecto a un 25% en ejemplares colectados manualmente, habiéndose determinado una concentración promedio de  $10^3$  unidades formadoras de colonias por mililitro de hemolinfa (UFC/ml), en organismos sometidos a estrés de captura. Aún en condiciones normales, es decir sin el estrés generado por el manejo comercial, se determinaron bacterias en la hemolinfa de las jaibas, cuyo número se ha relacionado con la temperatura del agua, cambios estacionales y sexo. Estas jaibas son detritívoras, y aquellas con niveles altos de bacterias ( $10^4$  UFC/ml) dejaron de alimentarse. Se identificó a la bacteremia como responsable de la pérdida de pesquerías de *C. sapidus*, observándose que las concentraciones bacterianas de la hemolinfa, pueden relacionarse con los contenidos bacterianos ambientales (Welsh y Sizemore, 1985).

Tanto crustáceos, como peces no son utilizados como indicadores de calidad sanitaria, particularmente por su gran movilidad, sin embargo han sido ampliamente estudiados por su importancia económica. Se han realizado estudios bacteriológicos, en músculo de peces marinos, donde se ha encontrado *E. coli*, que es posible atribuir a un mal manejo de los ejemplares, relacionado con la falta de higiene. Los análisis en heces fecales han demostrado que las bacterias coliformes no forman parte de la flora intestinal de peces marinos y su presencia se atribuye a un origen exógeno por contacto con superficies (Panduranga y Gupta, 1978). Por otro lado, las bacterias patógenas de peces marinos incluyen, entre otros géneros, a *Streptococcus* sp. del grupo D, especies: *S. equisimilis*, *S. equisimilis equisimilis*, *S. faecium*, *S. pyogenes*, *S. zooepidermicus*, *S. galactiae* y *S. faecalis*, a los que se les atribuye la estreptococcosis o estallamiento de ojos, es decir, son patógenos de peces, pero no patógenos entéricos. La presencia de bacterias no patógenas de peces aunque se considere transitoria en ellos, no puede descartarse como el origen de una predisposición a infecciones



(Austin y Allen-Austin, 1985a). La flora intestinal de peces marinos normalmente incluye a los géneros *Vibrio*, *Aeromonas* y *Pseudomonas*; los contaminantes microbiológicos pueden afectarlos antes que al ambiente, de manera que los peces pueden servir como sus propios indicadores de condiciones no sanitarias, se ha probado que la presencia de enterobacterias es indeseable para los peces en ambientes costeros (Austin y Allen-Austin, 1985b).

Los organismos adultos de la especie *Mugil cephalus* (lisa), que desarrolla parte de su ciclo vital en la laguna de Tamiahua, se alimentan de detritos de plantas y animales, así como de la micro y meioflora asociada a los sedimentos. Varios autores coinciden en que existe disponibilidad de alimento en la laguna, fundamentalmente para especies filtradoras, como *Crassostrea virginica* (Ibañez, 1995). Tanto *C. virginica*, como *C. sapidus* y *M. cephalus*, pueden modificar su alimentación cuando se encuentran en un ambiente enriquecido con bacterias, lo cual podría relacionarse con menor talla o peso, o algún otro aspecto morfométrico de los organismos que incluyen altas concentraciones de bacterias. Las tres especies representan recursos de importancia comercial en esta laguna, que es la de mayor dimensión en el estado de Veracruz. Esta laguna recibe los aportes de numerosos esteros y afluentes de zonas habitadas en las cuales es común el uso de letrinas elevadas. En México existen pocos registros sobre contaminación microbiológica en cuerpos de agua naturales. La mayor parte de los estudios se ha realizado en tomas de agua potable y depósitos diversos (Marín, 1991), así como en organismos con posibilidad de ser consumidos crudos (Rosas *et al.*, 1985; Rodríguez-Santiago y Botello, 1987). Así mismo, muy pocos se han realizado para determinar la relación entre la contaminación del agua y el contenido microbiológico en diferentes estaciones del año (Martínez-Manzanares *et al.*, 1993).

Así, la evaluación de la contaminación microbiológica, se analiza desde el punto de vista sanitario, sin considerar que los indicadores de calidad del agua tienen una interacción compleja con el ambiente y con los organismos que se encuentran en el mismo. La imagen del ambiente caracterizada con los indicadores a través de los criterios de calidad sanitaria reconocidos oficialmente (coliformes) dan una visión pobre, que puede ampliarse si se emplean diferentes indicadores complementarios (como los estreptococos fecales) y estos se analizan en diferentes objetos de estudio como el agua, el sedimento y organismos. Con base en los antecedentes expuestos en esta investigación fueron planteados los siguientes objetivos:

## II OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

ANALIZAR LAS CONDICIONES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA QUE PRESENTA LA LAGUNA DE TAMIAHUA Y SU INFLUENCIA SOBRE ESPECIES ACUÁTICAS COMERCIALES.

**A nivel específico se plantearon los siguientes objetivos particulares:**

Evaluar la calidad sanitaria del agua de la laguna de Tamiahua a través de los grupos indicadores bacterianos: coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales, en relación a los criterios de calidad del agua utilizados para cultivo de moluscos.

Determinar la variación en el comportamiento espacial y temporal de las concentraciones de estos grupos de bacterias en agua, sedimento y las especies *Crassostrea virginica*, *Callinectes sapidus* y *Mugil cephalus*.

Establecer la posible relación entre contenidos bacterianos y algunos aspectos morfométricos de las especies: *Crassostrea virginica*, *Callinectes sapidus* y *Mugil cephalus*.

### III AREA DE ESTUDIO

La laguna de Tamiahua (Fig. 1), es un sistema estuarino-lagunar ubicado en el norte del estado de Veracruz, entre los 21° 06' y 22° 05' de latitud norte y los 97° 22' y 97° 46' de longitud oeste, que limita al norte con el río Pánuco y al sur con el río Tuxpan. Sus dimensiones máximas son de NW a SE 85 Km y de E a W 20 Km, ocupando una extensión aproximada de 750 Km<sup>2</sup>. Su profundidad promedio es de 2.2 m (de la Lanza y Caceres, 1994). El clima es Aw<sup>2</sup> (e) de acuerdo a la clasificación de García. Actualmente tiene dos bocas: Tampachiche y Corazones, ubicadas al norte y al sur respectivamente. La vegetación circundante es preponderantemente manglar: *Rizophora mangle*, *Avicenia nitida*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* y vegetación pionera en las playas. Sus temperaturas mínima y máxima registradas son 21 y 31°C, salinidad entre 16 y 37 S‰, oxígeno disuelto entre 5 y 8 ml/l y pH de 8.1 a 8.8. Recibe las aguas de numerosos ríos pequeños. En ella desemboca el estero Tancochín, que recibe las aguas residuales de la ciudad de Naranjos y otras zonas (Contreras, 1985). Las estaciones evidentes son secas (de marzo a junio), lluvias (de julio a octubre) y nortes (noviembre a febrero). Esta laguna es uno de los 20 puertos pesqueros más importantes del litoral mexicano (Botello *et al.*, 1992). Colinda con los municipios de: ciudad Madero, en Tamaulipas; y de Pueblo Viejo, Tampico Alto, Tamiahua, Ozuluama y Tamalín, en Veracruz (Contreras *et al.*, 1988). En el extremo sur se encuentra la ciudad de Tamiahua, que limita al este con la laguna, al oeste con el estero la Ciénega y al sur con el estero Milpas. También descargan agua residual en la laguna, el poblado de la Isla del Idolo, que no cuenta con drenaje, y asentamientos humanos dispersos de pequeñas dimensiones.

Tiene importancia fundamental por su producción pesquera, es altamente aprovechable para actividades de acuacultura. El ostión es fuente primordial de ingresos, considerándose a la jaiba una fuente alternativa en época de veda de ostión (Ibañez y Campos, 1991). Entre las diez especies más explotadas en ella se encuentran: el ostión *Crassostrea virginica*, las jaibas del género *Callinectes* y los peces *Mugil cephalus* (lisa) (Sria. de Pesca, 1992).

No se ha definido como un área con fuertes impactos derivados de la contaminación, comparandola con otros cuerpos lagunares del golfo de México. Aunque se ha reconocido que existen problemas relacionados con derrames de petróleo, residuos industriales y drenajes.

Se han realizado en ella estudios sobre contaminación de tipo químico por metales pesados e hidrocarburos (Botello, 1978; Botello *et al.*, 1978; Botello *et al.*, 1992, Ponce, *et al.*, 1994) y sobre acumulación de metales en jaiba (Rosas, *et al.*, 1989; Ramírez *et al.*, 1989). En relación a la contaminación bacteriológica de la laguna, se cuenta con los trabajos de Rosas *et al.* (1985), de Ruiz-Cabrera y Medina-Soto (1986) y Barrera *et al.* (1989). El primero encontró que las bacterias rebasaron los niveles permitidos en agua para áreas de cultivo de ostión en la laguna, en él se registraron *Escherichia coli* y *Plesiomonas shigelloides*. En el segundo, se analizaron bancos de ostión, en los cuales se demostró que los límites permitidos son frecuentemente rebasados tanto para agua como para ostión. En el tercero se demostró que los niveles permisibles son rebasados con frecuencia en agua de la zona sur de la laguna. Se han registrado niveles por encima de los permisibles en coliformes y estreptococos fecales en pozos de la ciudad de Tamiahua (Barrera *et al.*, 1990a). Estos mismos grupos rebasaron límites permisibles en los esteros de La Laja y Cucharas situados en la zona central de la laguna, particularmente en este último, donde vierten sus desechos una industria de productos lácteos y la ciudad de Naranjos (Barrera *et al.*, 1990b). Así, la laguna recibe aportes de ciudades y poblados dispersos en sus riberas, y de poblaciones alejadas a través de algunos ríos.

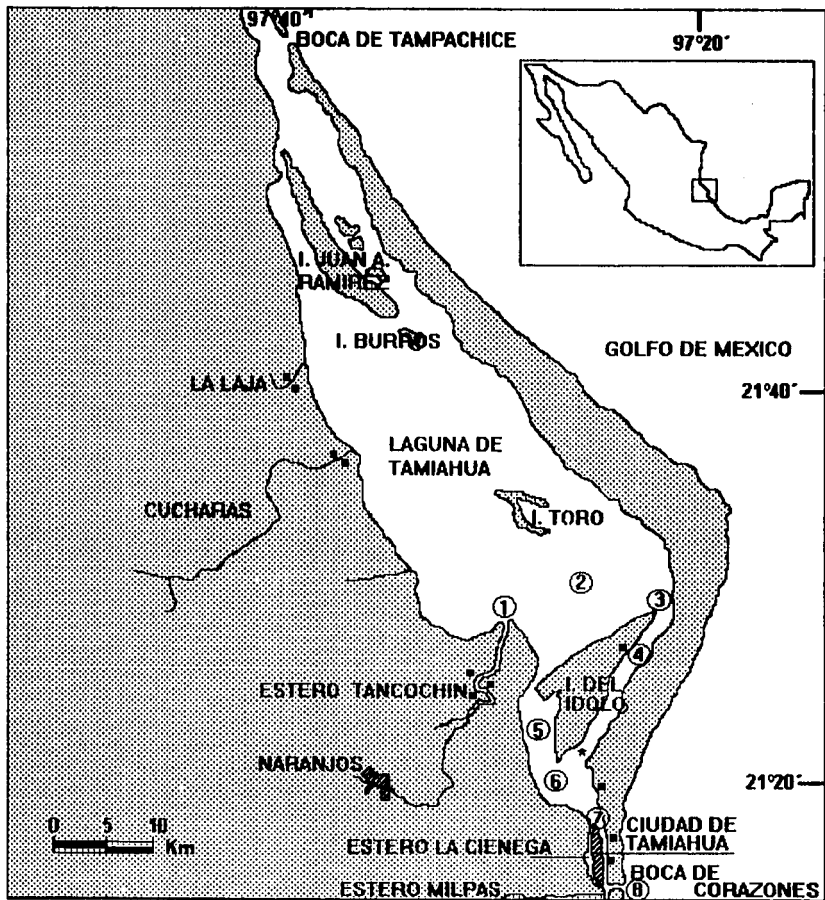


Fig. 1. Zona de estudio. Localidades de muestreo: 1, Estero Tancochin; 2, 3, 4, 5, y 6, Norte, Noreste, Este, Oeste y Sur de la Isla del idolo, respectivamente; 7, Ciudad de Tamiahua; 8, Boca de Corazones. \*bancos de ostión; \*asentamientos.

## IV. MATERIALES Y METODOS

### A. METODO DE CAMPO

#### Monitoreo

Se realizaron colectas en la zona sur de la laguna de Tamiahua bimestralmente, durante el ciclo que abarcó de julio de 1987 a julio de 1988. Las localidades fueron seleccionadas de acuerdo a los siguientes aspectos. La ciudad de Tamiahua aporta agua residual por el drenaje y materia fecal directamente a la laguna, por lo que se ubicó una localidad frente a ella. La ciudad de Naranjos, descarga en el estero Tancochín, en cuya desembocadura se ubicó otra localidad. La Boca de Corazones es un punto interesante ya que es el contacto de la laguna con el golfo de México. La localidad situada al norte de la isla del Idolo fue la más cercana a la parte central de la laguna. En el lado este de la isla se colectó frente a un pequeño poblado que representa el asentamiento más importante de la misma. Las localidades restantes, situadas al oeste, sur y noreste de la isla se consideraron alejadas de aportes y adecuadas para contrastar.

Los puntos fueron ubicados a través de las cartas de INEGI (1981, 1983 y 1987). Se tomaron muestras de agua superficial, 50 cm por encima del fondo y de sedimento en cada localidad. Así, fueron procesadas 24 muestras en cada colecta, con en fin de comparar contenidos en el agua con los del sedimento y de establecer si existían diferencias en los contenidos de agua superficial y de fondo.

El ostión *Crassostrea virginica*, fue obtenido de bancos ostrícolas ubicados en el canal en la parte Sur de la isla del Idolo, para garantizar el rápido transporte y procesamiento de las muestras en menos de 8 horas. Los muestreos se realizaron en mayo y junio de 1989 (estaciones de secas y al inicio de lluvias). Se trabajó con organismos de talla comercial, es decir, mayores de 9 cm de longitud. Se tomaron simultáneamente muestras de agua y sedimento.

Los muestreos de *Callinectes* sp. se efectuaron en diciembre de 1989, marzo y julio de 1990 (estaciones de nortes, secas y lluvias, respectivamente). Se procesaron solo organismos de talla comercial (más de 9 cm de longitud de caparazón), obtenidos del beneficio de la pesca de la cooperativa de Tamiahua. El área en que esta cooperativa realiza sus actividades abarca la zona sur de la laguna, en la que se realizó la colecta, pero los puntos de extracción de las jaibas no fueron determinados.

Las colectas de lisa (*Mugil cephalus*) se realizaron en abril y mayo (secas), y en julio y agosto (lluvias) de 1989. Se analizaron los organismos disponibles del beneficio total en cada muestreo en la cooperativa de Tamiahua. También, aunque no siempre, tuvieron talla comercial debido a que no se colectó en temporada alta de captura. Las muestras analizadas se sintetizan en la tabla 1.

**Tabla 1. Relación de muestras analizadas.**

	COLECTA	FECHAS	ASPECTOS PARTICULARES	MUESTRAS
LAGUNA	Bimestral	julio 1987 a julio 1988	agua en superficie y fondo, y sedimento	168
OSTIÓN <i>C. virginica</i>	Secas y lluvias.	mayo y junio 1989	30 organismos por colecta	60
LISA <i>M. cephalus</i>	Secas y lluvias.	abril, mayo, julio, agosto 1989	68 hembras y 30 machos	98
JAIBA <i>Callinectes</i> sp.	Nortes, secas y lluvias.	diciembre 1989, marzo y julio 1990	39 hembras y 37 machos	76

### **Obtención, preservación y transporte de las muestras.**

Las muestras de agua se tomaron manualmente en agua superficial y por botella Van Dorn en aguas de fondo y fueron colocadas en frascos estériles (Fig. 2). El sedimento fue colectado manualmente en frascos estériles, en sitios accesibles, y en los sitios inaccesibles con un nucleador diseñado para la colecta de los primeros 30 cm de sedimento (Fig. 3). Se extrajo del nucleador el primer centímetro de sedimento con cucharillas esteriles y este fue colocado en frascos, los cuales se transportaron en hielo al laboratorio.



**Fig. 2. Colecta manual en aguas superficiales.**

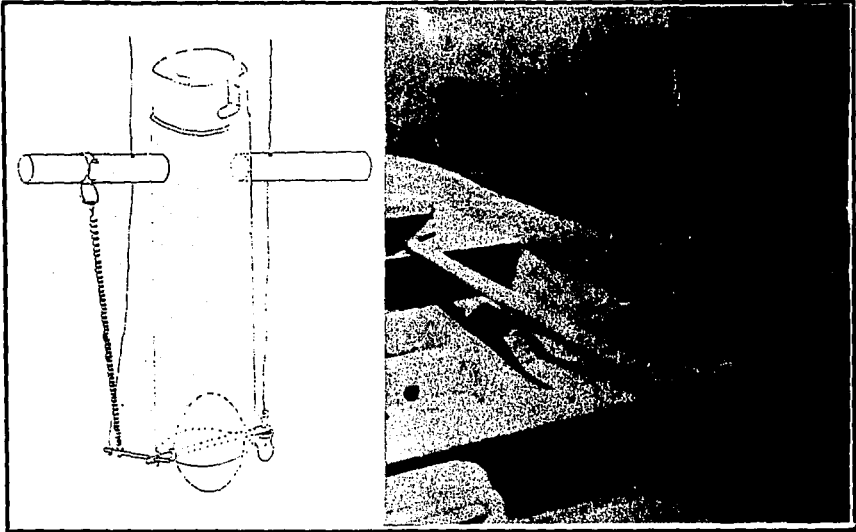


Fig. 3. Nucleador para colecta de sedimento.

El ostión (*Crassostrea virginica*), se extrajo con rastras, se transportó vivo al laboratorio, con las valvas cerradas, en arpillas y a temperatura ambiente, siguiendo la forma en que se maneja comercialmente.

Las jaibas (*Callinectes* sp.) obtenidas del beneficio de la pesca fueron seleccionadas por el tamaño del caparazón (mayor de 9 cm), procesándose solamente los organismos de talla comercial que permitieran obtener una muestra de hemolinfa de más de 1.5 ml. La longitud del caparazón se midió en la parte más ancha y se determinó el sexo. La hemolinfa se obtuvo de ejemplares vivos, *in situ*, previa limpieza con etanol y algodón del punto de punción, que se ubicó en la membrana intersegmentaria del quinto par de patas, donde se une al cuerpo, por el sitio donde pasa la arteria descendente, siguiendo el método utilizado por Welsh y Sizemore (1985). La hemolinfa se extrajo con jeringas desechables que contaban con 0.5 ml de solución saturada de EDTA (sal disódica) como anticoagulante (Sanford, 1974). Las jeringas se transportaron en hielo al laboratorio en condiciones asépticas. La toma de la hemolinfa se realizó en un lapso menor a 4 horas desde la captura de los ejemplares.

En el caso de la lisa (*Mugil cephalus*), se disectaron los tractos digestivos *in situ*. Los ejemplares fueron previamente medidos (longitud total) y pesados. Los tractos cerrados se colocaron en bolsas estériles y se transportaron en hielo, hasta el laboratorio, donde fueron abiertos en condiciones asépticas para la separación de las heces.

## **Determinación de parámetros fisicoquímicos.**

Simultáneamente a la toma de muestras de agua se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura y oxígeno disuelto con oxímetro de sensor polarográfico YSI modelo 54A ( $\pm 0.05$  °C y  $\pm 0.05$  mg/l); pH con potenciómetro de campo Conductronic modelo 10 ( $\pm 0.01$  unidades de pH); salinidad con salinómetro de inducción Beckman RS7.C ( $\pm 0.05$  S‰); profundidad y transparencia con disco de Sechi ( $\pm 0.05$  m).

## **B. METODO DE LABORATORIO**

### **Procesamiento de muestras.**

Las muestras se procesaron en área estéril, junto a mechero. El agua, sedimento, hemolinfa y heces de lisa fueron diluidos con agua estéril. Para ostión se utilizó solución amortiguadora de fosfatos. Las muestras de agua y sedimento se manejaron directamente con pipetas estériles.

El sedimento fue extraído de los frascos con espátula previamente flameada con alcohol. Se pesó 1 gramo en caja de petri estéril, que se trasladó inmediatamente a 9 ml de agua de dilución, en un tubo de ensayo.

Los ostiones fueron procesados individualmente. Se lavaron con cepillo y agua estériles de acuerdo a las especificaciones de APHA (1985). Se obtuvo longitud de la concha y peso de los ostiones incluyendo pulpa y líquido de intervalvas por diferencia del peso de las conchas. Se desconchó siguiendo el método indicado por Rosas *et al.* (1985) utilizando cuchillos y frascos estériles. Se maceró cada ostión durante 60 seg a 14,000 RPM (Thatcher y Clark, 1973), aforando previamente a 25 ml con solución amortiguadora de fosfatos en un vaso con aspas estériles.

La hemolinfa de jaiba se colocó directamente de la jeringa a los tubos de dilución.

Los tractos digestivos de lisa se extrajeron de las bolsas, con instrumentos previamente esterilizados. Las heces fueron manejadas con espátula y pesadas en cajas de petri antes de su dilución. Se empleó para el análisis microbiológico un gramo de muestra. Se determinaron longitud y peso de los ejemplares, sexo, así como estado de madurez gonádica interpretada con el criterio sugerido por Nikolsky (1963). Se calculó la condición de los peces (K) siguiendo la fórmula de Ricker (1975) para la determinación de robutez, que relaciona longitud con peso y puede manifestar condiciones de estrés:  $K=W/L^b$ .

Se efectuaron análisis previos para el montaje de las técnicas de cultivo, a partir de los cuales se seleccionaron tres de ocho diluciones para trabajar cada tipo de muestra en forma adecuada y para que los valores obtenidos pudieran ser comparables entre agua, sedimento, macerado de ostión, hemolinfa de jaiba y heces fecales de lisa. Las diluciones definitivas para cada tipo de muestra se presentan en la tabla 2.

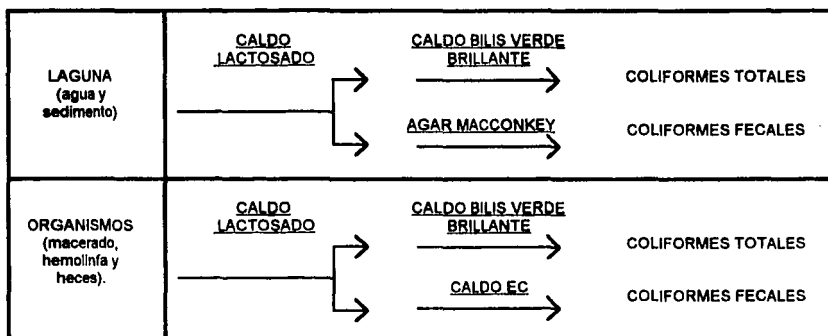


**Tabla 2. Diluciones utilizadas para los cultivos.**

	MUESTRA	DILUCION			
		10 %	1%	0.1%	0.01%
Agua	X	X	X		
Sedimento			X	X	X
Ostión ( <i>Crassostrea virginica</i> )		X	X	X	
Jaiba ( <i>Callinectes</i> sp.)		X	X	X	
Lisa ( <i>Mugil cephalus</i> )		X	X	X	

**Secuencias de cultivo.**

La determinación de coliformes se realizó con enriquecimiento en caldo lactosado (pH 6.9<sup>+</sup>-0.2) incubado a 35°C, con siembras en medios selectivos. En el caso de coliformes totales (CT) se cultivó en caldo bilis verde brillante (pH 7.2<sup>+</sup>-0.2) incubado a 35°C. Para coliformes fecales (CF) se utilizó caldo EC (pH 6.9<sup>+</sup>-0.1) incubado a 44.5°C o medio MacConkey. El crecimiento bacteriano se interpretó por turbiedad y producción de gas en medios líquidos, así como por la presencia de colonias rosas y rojas en agar. Las secuencias siguieron las técnicas planteadas en el Diario Oficial (1987) NOM-AA-42-1987 (Fig. 4).



**Fig. 4. Secuencia de siembra para determinación de coliformes.**

En el caso de estreptococos fecales (EF) las secuencias de cultivo para la laguna fueron: cultivo de enriquecimiento en azida dextrosa, incubando a 35°C. La prueba confirmativa de la presencia del grupo se realizó por ausencia de actividad de la catalasa con peróxido de hidrógeno al 3%. En el caso de jaiba y ostión (género *Callinectes* sp. y *Crassostrea virginica*) el cultivo de enriquecimiento se realizó en caldo azida dextrosa, con resiembra en caldo púrpura de bromocresol azida, ambos incubados a 35°C. El crecimiento bacteriano se interpretó por presencia de colonias blancas en agar y ausencia de formación de burbujas en presencia de peróxido de hidrógeno; así como turbiedad en medios líquidos, con viraje de color rojo o vino a café o amarillo en púrpura de bromocresol (Fig. 5). La prueba de Gram se realizó posteriormente a los conteos, y se interpretó por la presencia de bacterias Gram negativas

(MERCCK, 1982a y b; Pelczar *et al*, 1982). En el caso de la lisa (*Mugil cephalus*) no se determinó este grupo.

LAGUNA	CALDO AZIDA DEXTROSA	→	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 3%
OSTION Y JAIBA	AGAR AZIDA DEXTROSA	→	CALDO PURPURA DE BROMOCRESOL AZIDA

Fig. 5. Secuencia de siembra para determinación de estreptococos fecales.

El volúmen de dilución inoculado fue de 0.5 ml en 10 ml de medio líquido (caldo) o 0.2 ml en placa extendida (agar), en cada caso con tres réplicas. Los conteos se realizaron a las 24 y 48 horas en medios líquidos, y a las 18 y 24 horas en agar.

Los valores de Número Más Probable (NMP), se obtuvieron de medios líquidos a través de la fórmula propuesta por APHA (1985) para la técnica de tubos múltiples:

$$NMP/100ml = \frac{(N^{\circ} \text{ de tubos positivos}) (100)}{\sqrt{(ml \text{ M en tubos negativos}) (ml \text{ M en todos los tubos})}}$$

ml M = ml de muestra sembrados (considerando las diluciones).

En medios sólidos se realizaron conteos de unidades formadoras de colonias (UFC/100 ml) en cajas cuyo número de colonias oscilara entre 30 y 300 (APHA, 1985).

## C. DETERMINACION DE LA CALIDAD SANITARIA

La evaluación de calidad sanitaria del agua de la laguna se realizó con base en el Reglamento para la Prevención de la Contaminación del Agua, Art. 24 y en los Criterios de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 y publicados por el Diario Oficial de la Federación (1973 y 1989 respectivamente). Los límites máximos de contenidos bacterianos están establecidos en relación a los usos a que se asigna el agua y están definidos para coliformes totales y fecales. Los estreptococos no están involucrados en las normas mexicanas y se interpretaron con los niveles máximos permisibles de coliformes fecales. Las razones para esta decisión se exponen ampliamente en la discusión (Tabla 3).

La calidad sanitaria del ostión se determinó de acuerdo a las normas de la Secretaría de Salud con un límite máximo de 230 CF/100 ml de pulpa (Vargas y Lizarraga-Partida, 1994); no existen límites establecidos para coliformes totales ni estreptococos en ostión en México.

**Tabla 3. Límites máximos permisibles en aguas estuarinas.**

USOS	Número más probable/100 ml
Explotación de moluscos de consumo directo (1).	70 Coliformes Totales promedio
Recreación con contacto primario (1).	200 Coliformes Fecales (a)*
Explotación pesquera (1).	10,000 CT promedio mensual (b)
Protección de la vida acuática en zonas costeras (2).	no más de 200 Coliformes Fecales **
Acuicultura de moluscos bivalvos (2).	14 Coliformes Fecales *** 70 Coliformes Totales ****

(1) De acuerdo a la tabla 4 art. 24 Reglamento para la prevención y control de la contaminación de las aguas (1973).

(a) No más del 10 % del total de las muestras mensuales (5 mínimo), podrá exceder de 2,000 CF

(b) Ningún valor deberá exceder de 20,000 CT.

(2) De acuerdo a los Criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89 (1989).

\* Estos criterios indican que no más del 10 % del total de las muestras mensuales deberá exceder de 400 CF.

\*\* No más del 10 % del total de las muestras mensuales deberá exceder de 400 CF.

\*\*\* No más del 10 % del total de las muestras deberá ser mayor de 43 CF.

\*\*\*\* No más del 10 % del total de las muestras deberá ser mayor de 230 CT.

#### D. COMPARACION DE LAS CONCENTRACIONES BACTERIANAS.

Con los resultados obtenidos de las concentraciones de bacterias en agua y sedimento, se elaboró una escala artificial, basada en los límites establecidos en los criterios de calidad del agua anteriormente indicados. Estos límites permitieron establecer dos categorías de contenidos: (A) las muestras con concentraciones superiores a los límites permitidos para la explotación de moluscos bivalvos y (B) las que rebasaran los límites permitidos para recreación con contacto primario y protección de la vida acuática. Las muestras que tuvieron concentraciones más altas, permitieron establecer otros tres niveles (C, D y E), considerando el orden de magnitud de los números más probables. Así, las muestras se calificaron con los niveles desde A hasta E. En el caso de los organismos se utilizó el límite de máximo que recomienda la Secretaría de Salud para muestras de ostión, 230 bacterias coliformes fecales/100 g de pulpa (Vargas y Lizarraga-Partida, 1994), como base para calificar las concentraciones encontradas en las tres especies, se consideraron como muestras de nivel (A) a aquellas que presentaran entre 230 y 1,000 bacterias, (B) aquellas que tuvieran entre 1,001 y 10,000, (C) entre 10,001 y 100,000 y (D) entre 100,001 y 1,000,000 (Tabla 4).

**Tabla 4. Escala comparativa para las concentraciones de bacterias.**

CATEGORIA	Agua y sedimento NMP/100ml ó g	Organismos NMP/100 ml ó g
A	14-70	230-1,000
B	71-200	1,001-10,000
C	201-1,000	10,001-100,000
D	1,001-10,000	100,001-1,000,000
E	10,001 ó más	1,000,001 o más

Se obtuvo la relación coliformes fecales / estreptococos fecales (Fujioka *et al.*, 1981) para establecer el origen humano o animal de la contaminación.

## **E. ANALISIS ESTADISTICO**

### **Análisis exploratorio.**

Para seleccionar las técnicas estadísticas apropiadas a los datos bacteriológicos, se llevó a cabo un análisis exploratorio de los datos (Tukey 1977), consistente en la comprobación de las hipótesis fundamentales para la aplicación correcta de pruebas paramétricas o no paramétricas y para determinar la conveniencia de transformar o no los datos. Este análisis se desarrolló en los datos de la laguna.

Las hipótesis comprobadas fueron: aditividad por prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1988), normalidad e independencia por prueba de ciclos por encima y debajo de la mediana (Sokal, 1969) y homogeneidad de varianzas por la prueba de Bartlett (Sokal, 1969). Los residuos para evaluar normalidad, independencia y homocedasticidad se obtuvieron de dos modelos: Bloque aleatorizado con efectos fijos (Milton y Tsokos, 1987) y Tablas de dos vías (Emerson y Hoaglin, 1983), obtenidos del promedio y la mediana respectivamente. El ajuste de los residuos a la normal se comparó por diagramas de cajas en paralelo.

Para establecer la conveniencia de transformación de los datos, se aplicaron: evaluación con las reexpresiones más comunes para datos biológicos sugeridas por Tukey (1977), prueba de tres puntos obvios y frecuencia acumulada (Tukey, 1977). Se comprobaron las hipótesis fundamentales a través de los dos modelos mencionados para la transformación logarítmica.

### **Pruebas estadísticas.**

Este análisis se realizó tanto con las concentraciones de bacterias como con el porcentaje de muestras que rebasaron los límites máximos permitidos para calidad sanitaria.

Se compararon los contenidos en agua de superficie y los de fondo de la laguna y en comparaciones pareadas en los organismos a través de la prueba de U de Mann-Whitney integrando los datos por estación del año (lluvias, nortes, secas). Cuando no se presentaron diferencias significativas se obtuvo el índice de correlación de Spearman. Las variaciones entre las estaciones del año, se analizaron a través de la prueba de Kruskal-Wallis (Milton y Tsokos, 1987).

Se elaboraron mapas con los niveles de concentraciones de bacterias calificadas de acuerdo al sistema anteriormente indicado, para agua y sedimento de la laguna. Los parámetros fisicoquímicos fueron comparados espacial y temporalmente por prueba de t de Student y por ANOVA. Se realizaron además correlaciones múltiples (Steel y Torrie, 1988). La comparación entre parámetros y bacterias fue realizada por el coeficiente de correlación de Spearman.

## V RESULTADOS

### CALIDAD SANITARIA DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA

Los números más probables registrados en la laguna de Tamiahua, fluctuaron entre 0 y 10,000 bacterias/100ml en agua y entre 0 y 22,600 bacterias/100g en sedimento, para los grupos coliformes (tablas 5 y 6). Los estreptococos fecales fluctuaron entre 0 y 1,400 bacterias/100ml en agua, y 0 a 39,000 bacterias/100g en sedimento (tabla 7).

De acuerdo a estos resultados en las bacterias coliformes totales el 55.3% de las muestras de agua de superficie y el 62.5% de las muestras de fondo rebasaron los límites máximos permisibles establecidos para el cultivo de moluscos, mientras que el 30.3% de las muestras de agua de superficie y el 37.5% de la de fondo rebasaron los límites para coliformes fecales.

En el caso de los usos: recreativo con contacto primario y protección de la vida acuática, que se han establecido únicamente para coliformes fecales, el 7.1% de las muestras superficiales y 10.7% de las de fondo tuvieron mala calidad sanitaria.

Estos porcentajes indican que, en términos generales la laguna de Tamiahua no presentó condiciones satisfactorias para el cultivo de moluscos bivalvos, durante el ciclo que comprendió de julio de 1987 a julio de 1988. Sin embargo, si se consideró adecuada para recreación con contacto primario y para protección de la vida acuática, de acuerdo con los reglamentos vigentes.

En el caso de los estreptococos fecales, estuvieron contaminadas el 20% de las muestras superficiales y el 21.8% de las muestras de fondo para cultivo de moluscos; y en relación a los límites considerados para la protección de la vida acuática, el 5.6% y 9.1% de las muestras superficiales y de fondo respectivamente, los superaron. De manera que el grupo de estreptococos fecales llevó a las mismas conclusiones que los grupos coliformes, es decir, el agua de la laguna no es apta para el cultivo de moluscos bivalvos, pero si para uso recreativo y protección de la vida acuática.

La mayor frecuencia de muestras que rebasaron los límites de calidad sanitaria se presentó para el grupo coliformes totales y la menor para estreptococos. Particularmente en el mes de julio de 1987 los límites fueron rebasados en los tres grupos bacterianos analizados con altas concentraciones de bacterias.

Las concentraciones en sedimento fueron, en términos generales, un orden de magnitud más elevado que las muestras de agua. Para la comparación de las concentraciones de bacterias encontradas en agua y sedimento, así como las variaciones en las estaciones del año, los datos requirieron de un análisis exploratorio que permitiera la selección de técnicas estadísticas adecuadas para la inferencia.

**Tabla 5. Números más probables de bacterias coliformes en la laguna de Tamiahua (julio de 1987 a julio de 1988).**

COLIFORMES TOTALES EN AGUA DE SUPERFICIE (NMP/100ml)							
LOCALIDAD	MES						
	JUL	SEP	NOV	ENE	MAR	MAY	JUL
SUR ISLA DEL IDOLO	775	144	190	0	72	0	0
OESTE ISLA DEL IDOLO	914	6	72	0	30	0	0
ESTERO TANCOCHIN	5425	3797	3797	190	0	1520	0
NORTE ISLA DEL IDOLO	1520	72	914		190	0	0
NORESTE ISLA DEL IDOLO	1898	0	775	72	1	0	0
ESTE ISLA DEL IDOLO	3797	72	190	72	0	0	0
CIUDAD DE TAMIAHUA	1520	0	190	72	5	296	572
BOCA DE CORAZONES	9864	0	72	572	1	0	72

COLIFORMES TOTALES EN AGUA DE FONDO (NMP/100ml)							
LOCALIDAD	MES						
	JUL	SEP	NOV	ENE	MAR	MAY	JUL
SUR ISLA DEL IDOLO	397	38	572	54	147	0	72
OESTE ISLA DEL IDOLO	914	72	300	100	1	296	10
ESTERO TANCOCHIN	5425	72	412	144	72	190	296
NORTE ISLA DEL IDOLO	186	9	1520		72	190	0
NORESTE ISLA DEL IDOLO	1435	1	775	180	5	61	72
ESTE ISLA DEL IDOLO	1715	3	572	7	0	1	0
CIUDAD DE TAMIAHUA	1898	61	266	7	61	914	0
BOCA DE CORAZONES	9768	10	572	72	72	572	9864

COLIFORMES TOTALES EN SEDIMENTO (NMP/100 g)							
LOCALIDAD	MES						
	JUL	SEP	NOV	ENE	MAR	MAY	JUL
SUR ISLA DEL IDOLO	3050	91412	7180	0	0		
OESTE ISLA DEL IDOLO	19007	54	14391	2	0		
ESTERO TANCOCHIN	14679	9	7180	2	350		
NORTE ISLA DEL IDOLO	1000	39	18		15		
NORESTE ISLA DEL IDOLO	200	1	3	0	0		
ESTE ISLA DEL IDOLO	22579	6	6098	7	1		
CIUDAD DE TAMIAHUA	100	7	300	6	72		
BOCA DE CORAZONES				0	30		

Muestras no aptas para cultivo de moluscos bivalvos, por encima de 70 coliformes totales / 100 ml

**Tabla 6. Números más probables de coliformes fecales registrados en la laguna de Tamiahua (julio 1987 a julio 1988).**

COLIFORMES FECALES EN AGUA DE SUPERFICIE (NMP/100 ml)							
LOCALIDAD	MES						
	JUL	SEP	NOV	ENE	MAR	MAY	JUL
SUR ISLA DEL IDOLO	1	55	1	0	29	0	0
OESTE ISLA DEL IDOLO	166	6	60	0	30	0	10
ESTERO TANCOCHIN	240	50	10	0	0	50	0
NORTE ISLA DEL IDOLO	37	20	37		0	0	0
NORESTE ISLA DEL IDOLO	133	0	1	0	1	0	0
ESTE ISLA DEL IDOLO	727*	7	41	0	0	0	0
CIUDAD DE TAMIAHUA	602*	10	100	1	5	0	0
BOCA DE CORAZONES	1015*	1	10	4	1	0	1

COLIFORMES FECALES EN AGUA DE FONDO (NMP/100 ml)							
LOCALIDAD	MES						
	JUL	SEP	NOV	ENE	MAR	MAY	JUL
SUR ISLA DEL IDOLO	37	38	21	54	1	0	0
OESTE ISLA DEL IDOLO	1315*	51	300*	100	1	0	0
ESTERO TANCOCHIN	284*	72	27	0	0	0	0
NORTE ISLA DEL IDOLO	1	9	26		55	2	0
NORESTE ISLA DEL IDOLO	271*	1	10	0	5	0	0
ESTE ISLA DEL IDOLO	432*	3	37	7	0	1	0
CIUDAD DE TAMIAHUA	0	1	9	7	15	18	0
BOCA DE CORAZONES	35	10	3	2	20	0	9884*

COLIFORMES FECALES EN SEDIMENTO (NMP/100 g)							
LOCALIDAD	MES						
	JUL	SEP	NOV	ENE	MAR	MAY	JUL
SUR ISLA DEL IDOLO	3050	91412	190	0	0		
OESTE ISLA DEL IDOLO	1100	54	200	2	0		
ESTERO TANCOCHIN	4300	9	10	2	350		
NORTE ISLA DEL IDOLO	1000	39	18		15		
NORESTE ISLA DEL IDOLO	200	1	3	0	0		
ESTE ISLA DEL IDOLO	500	6	6098	7	1		
CIUDAD DE TAMIAHUA	100	7	300	6	72		
BOCA DE CORAZONES				0	30		

Muestras no aptas para cultivo de moluscos bivalvos, por encima de 14 coliformes fecales / 100 ml

\* Muestras no aptas para uso recreativo y protección de la vida acuática, por encima de 200 coliformes fecales / 100 ml

**Tabla 7. Números más probables de estreptococos fecales registrados en la laguna de Tamiahua (julio 1987 a julio 1988).**

ESTREPTOCOCOS FECALES EN AGUA DE SUPERFICIE (NMP/100 ml)							
LOCALIDAD	MES						
	JUL	SEP	NOV	ENE	MAR	MAY	JUL
SUR ISLA DEL IDOLO	0	5	0	21	0	3	0
OESTE ISLA DEL IDOLO	3	1	1	115	0	0	0
ESTERO TANCOCHIN	365 *	10	0	0	0	1	0
NORTE ISLA DEL IDOLO	0	0	0		1	0	20
NORESTE ISLA DEL IDOLO	70	6	0	2	0	0	100
ESTE ISLA DEL IDOLO	13	1	2	10	0	18	0
CIUDAD DE TAMIAHUA	250 *	24	0	3	1	0	0
BOCA DE CORAZONES	945 *	1	50	2	0	10	0
ESTREPTOCOCOS FECALES EN AGUA DE FONDO (NMP/100 ml)							
LOCALIDAD	MES						
	JUL	SEP	NOV	ENE	MAR	MAY	JUL
SUR ISLA DEL IDOLO	0	5	6	10	1	10	0
OESTE ISLA DEL IDOLO	579 *	1	37	15	0	6	2
ESTERO TANCOCHIN	43	11	0	3	260 *	10	0
NORTE ISLA DEL IDOLO	1363 *	0	2		100	3	2
NORESTE ISLA DEL IDOLO	15	0	7	3	0	0	5
ESTE ISLA DEL IDOLO	24	0	2	4	2	6	3
CIUDAD DE TAMIAHUA	622 *	1	5	0	0	6	6
BOCA DE CORAZONES	510 *	9	2	2	0	0	18
ESTREPTOCOCOS FECALES EN SEDIMENTO (NMP/100 g)							
LOCALIDAD	MES						
	JUL	SEP	NOV	ENE	MAR	MAY	JUL
SUR ISLA DEL IDOLO	10	10	700	300	0		
OESTE ISLA DEL IDOLO	480	10	0	0	0		
ESTERO TANCOCHIN	810	0	0	10	55		
NORTE ISLA DEL IDOLO	40	0	0		3000		
NORESTE ISLA DEL IDOLO	38700	1	10	17	0		
ESTE ISLA DEL IDOLO	10	0	1267	3600	0		
CIUDAD DE TAMIAHUA	100	0	0	6	2110		
BOCA DE CORAZONES				0	200		

Muestras no aptas para cultivo de moluscos bivalvos, por encima de 14 estreptococos totales / 100 ml

Muestras no aptas para uso recreativo y protección de la vida acuática, por encima de 200 estreptococos totales/ 100 ml



## VARIACION DE LOS GRUPOS BACTERIANOS EN LA LAGUNA DE TAMIAHUA

El análisis exploratorio indicó que los datos son aditivos y que la reexpresión en logaritmo hace que las poblaciones se ajusten a la normalidad utilizando tanto modelos basados en promedios, como en modelos que utilizan la mediana como medida de tendencia central. Sin embargo, la transformación a logaritmo no hizo que los datos se comportaran de manera independiente, ni que las varianzas alcanzaran suficiente homogeneidad, como para el uso de pruebas paramétricas.

Los grupos de bacterias coliformes y estreptococos tuvieron un comportamiento estadístico semejante respecto a estas hipótesis fundamentales, por lo que se analizaron con las mismas pruebas estadísticas.

En la tabla 8 puede apreciarse que no existieron diferencias significativas entre las concentraciones de bacterias de superficie y de fondo en las tres estaciones del año, con excepción de las bacterias coliformes totales en la estación de secas, en la cual se presentaron concentraciones más altas en el fondo.

**Tabla 8. Valores de la prueba de U de Mann Whitney para la comparación de las concentraciones bacterianas en agua superficial y de fondo.**

Grupo	Coliformes totales			Coliformes fecales			Estreptococos fecales		
	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes	Secas
Z	-0.07	0.38	1.94	-0.14	1.38	0.78	0.69	1.2	1.71
$\alpha$	0.94	0.7	0.05*	0.89	0.17	0.44	0.49	0.23	0.09

\* Diferencias significativas.

Se presentaron altas correlaciones entre las concentraciones de bacterias en agua superficie y de fondo en los tres grupos en la estación de lluvias, mientras que en nortes únicamente las coliformes totales presentaron un comportamiento semejante (tabla 9).

**Tabla 9. Valor del coeficiente de correlación entre las concentraciones de bacterias en agua superficial y de fondo de la laguna de Tamiahua.**

	Lluvias		Nortes		Secas	
	$r_s$	$\alpha$	$r_s$	$\alpha$	$r_s$	$\alpha$
Coliformes totales	0.62	<0.01	0.63	0.02	0.47	0.06
Coliformes fecales	0.58	<0.01	0.29	0.28	0.20	0.45
Estreptococos fecales	0.42	0.04	0.08	0.75	0.22	0.40

Índice de correlación de Spearman significativo a  $\alpha$  0.05

También en lluvias existieron similitudes en el comportamiento de los grupos tres grupos de bacterias. En la estación de nortes el grupo coliformes totales tuvo alta correlación con estreptococos de agua superficial y con coliformes fecales en sedimento. En la temporada de secas, las bacterias en agua no tuvieron semejanzas, pero en sedimento si (tabla 10).

**Tabla 10. Valores de correlación entre los diferentes grupos bacterianos analizados en la laguna de Tamiahua.**

		Lluvias		Nortes		Secas	
		$r_s$	$\alpha$	$r_s$	$\alpha$	$r_s$	$\alpha$
Agua superficial	CT - CF	<b>0.79</b>	<b>&lt;0.01</b>	0.46	0.09	0.26	0.31
	CT - EF	0.39	0.06	<b>-0.81</b>	<b>0.02</b>	0.06	<b>0.00</b>
	CF - EF	<b>0.81</b>	<b>0.01</b>	<b>-0.38</b>	0.14	<b>-0.10</b>	0.68
Agua de fondo	CT - CF	<b>0.80</b>	<b>0.01</b>	0.15	0.56	0.03	<b>0.00</b>
	CT - EF	<b>0.67</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>-0.11</b>	0.89	0.18	0.48
	CF - EF	<b>0.38</b>	0.06	0.44	0.10	<b>-0.17</b>	0.51
Sedimento	CT - CF	<b>0.84</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>0.82</b>	<b>&lt;0.01</b>	1	0
	CT - EF	<b>0.63</b>	<b>0.02</b>	<b>-0.09</b>	<b>0.73</b>	<b>0.72</b>	<b>0.05</b>
	CF - EF	<b>0.87</b>	<b>0.01</b>	<b>-0.02</b>	<b>0.94</b>	<b>0.72</b>	<b>0.05</b>

CT, Coliformes totales; CF, Coliformes fecales; EF, Estreptococos fecales. Índice de correlación de Spearman significativo  $\alpha \leq 0.05$

Las concentraciones de bacterias coliformes tuvieron marcadas variaciones en agua superficial, en las tres estaciones del año, mientras que en agua de fondo estas variaciones no fueron apreciables estadísticamente. Los estreptococos fecales no presentaron variaciones importantes entre las estaciones del año (tabla 11). Las mayores concentraciones bacterianas se registraron durante la estación de lluvias.

**Tabla 11. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de las concentraciones bacterianas en agua en las diferentes estaciones del año.**

Grupo	Coliformes totales		Coliformes fecales		Estreptococos fecales	
	Superficial	Fondo	Superficial	Fondo	Superficial	Fondo
H	8.09	1.97	6.27	5.30	4.64	1.12
$\alpha$	0.02*	0.37	0.04*	0.07	0.10	0.57

\* Diferencias significativas.

Las concentraciones de bacterias coliformes en sedimento fueron significativamente mayores en la estación de lluvias. Los estreptococos en sedimento no variaron de forma importante entre las estaciones del año (Tabla 12).

**Tabla 12. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de las concentraciones bacterianas en sedimento de la laguna de Tamiahua en las tres estaciones del año.**

	Coliformes totales	Coliformes fecales	Estreptococos fecales
H	6.25	7.14	0.15
$\alpha$	0.04*	0.03*	0.83

\* Diferencias significativas.

Considerando al grupo coliformes totales, la ubicación de las localidades más contaminadas en la laguna fue la siguiente (Fig. 7): durante la estación de lluvias el agua de toda la laguna presentó altos niveles, particularmente frente al estero Tancochín y la Boca de Corazones, donde se alcanzó el nivel D en superficie y en fondo, es decir, por arriba de 1000 bacterias/100ml.

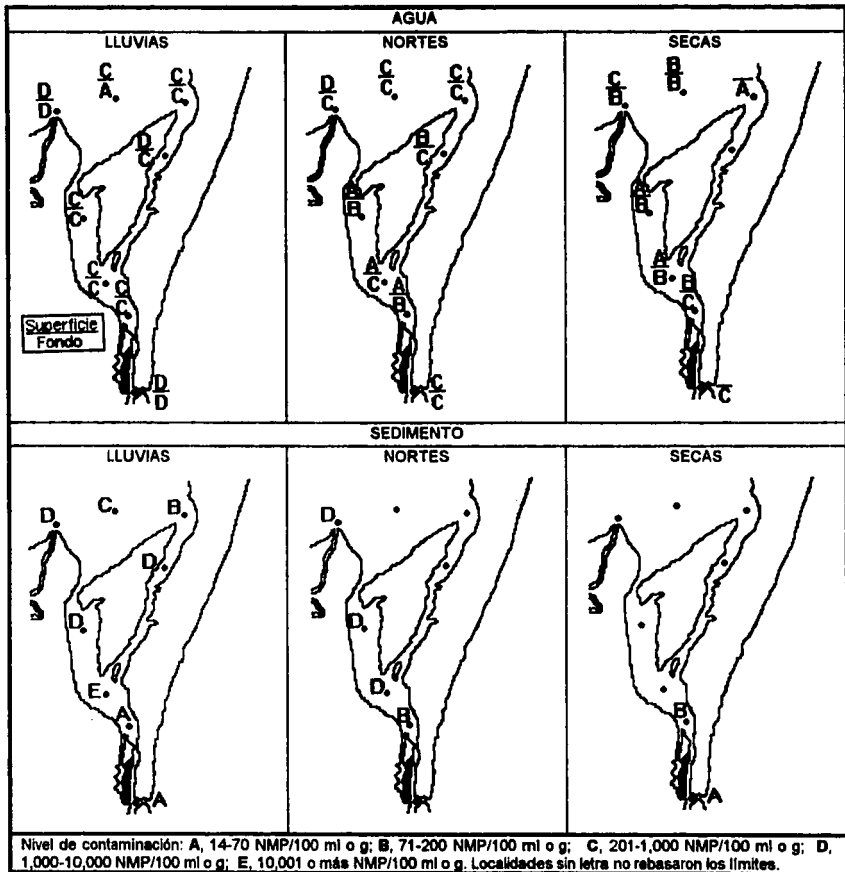


Fig. 7. Niveles de contaminación por coliformes totales registrados en la laguna de Tamiahua.

En sedimento, las localidades situadas al centro de la zona de colecta presentaron también concentraciones con el nivel D (estero Tancochín, oeste, sur y este de la isla del Idolo). Las localidades restantes, situadas al norte y noreste de la isla, y cercanas a la Boca de Corazones, no se encontraron tan contaminadas en sedimento como las anteriores.

En la estación de nortes, la contaminación por este grupo fue importante, aunque las concentraciones fueron menores que en lluvias, encontrándose las localidades más contaminadas en agua alrededor del nivel C (201 a 1000 bacterias/100ml). Los sitios que alcanzaron dichos niveles se ubicaron al norte de la isla (tres localidades) y en la Boca de Corazones. Mientras que en sedimento la parte oeste de la laguna presentó altos niveles de contaminación (nivel D) en tres localidades (Tancochín, oeste y sur de la isla).

En la estación de secas el agua del estero Tancochín y las dos localidades cercanas a la Boca de Corazones alcanzaron el nivel C, pero el sedimento no alcanzó altas concentraciones.

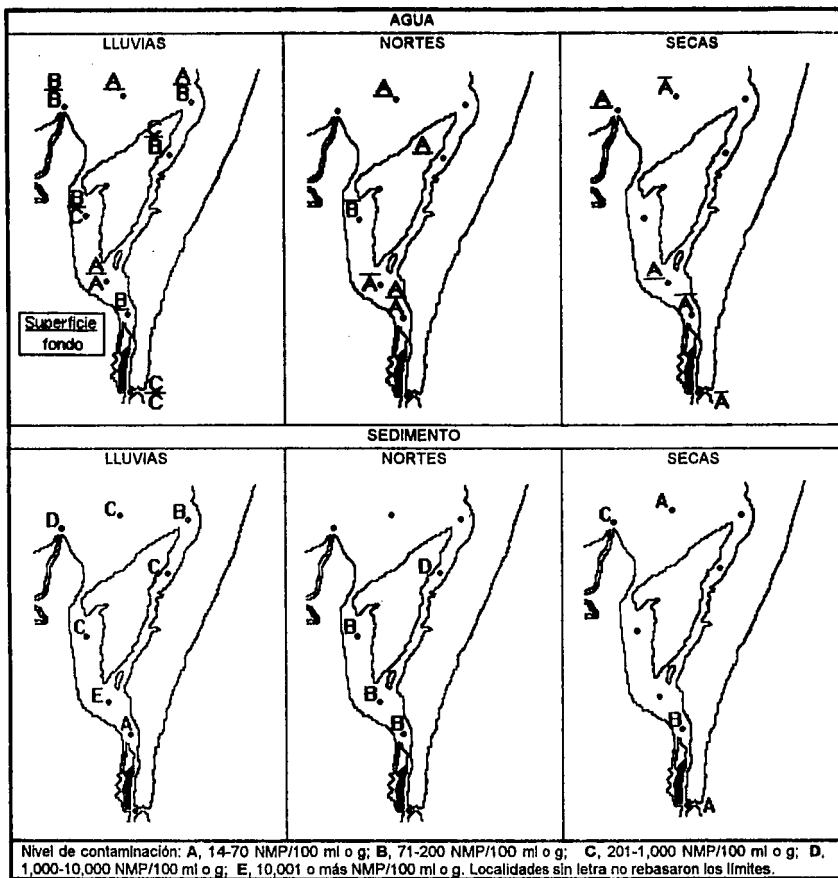
Así, la distribución de las concentraciones de bacterias coliformes totales fue bastante uniforme en la estación de lluvias, mientras que en nortes y secas se separaron las localidades contaminadas en dos grupos, uno situado al norte de la zona de colecta y otro al sur. Los sedimentos más contaminados se presentaron hacia la región central de la zona de colecta en lluvias y hacia el oeste en nortes.

La contaminación por coliformes totales fue mucho mayor que la de los otros dos grupos bacterianos analizados. De manera que, considerando a este grupo como único indicador, la laguna de Tamiahua se encontró en muy malas condiciones todo el año. Exceptuando el sedimento en estación de secas, que no presentó contaminación biológica.

En el caso de la contaminación calificada a través del grupo coliformes fecales (Fig. 8), la distribución de las localidades más contaminadas fue la siguiente: en la estación de lluvias el agua que alcanzó el nivel C (201 a 1000 bacterias/100ml), en las localidades ubicadas al oeste y este de la isla, así como en la Boca de Corazones. Las localidades restantes rebasaron por lo menos el nivel A (14 a 70 bacterias/100ml) en esta estación.

Durante la estación de nortes, las concentraciones de coliformes fecales llegaron a 200 bacterias/100ml (nivel B) al oeste de la isla del Idolo. Las cinco localidades más contaminadas se ubicaron en la región central de la zona de colecta con el nivel A. En la estación de secas dos grupos de localidades, uno al norte y otro al sur de la zona de colecta, rebasaron el nivel A, en dos y tres localidades respectivamente.

El sedimento presentó mayores concentraciones que el agua. En la estación de lluvias el estero Tancochín y el sur de la isla se consideraron muy contaminados alcanzando los niveles D (por arriba de 1000 bacterias/100g) y E (más de 10,000 bacterias/100g). Así, siete de las ocho localidades rebasaron las 200 bacterias/100g. En nortes cuatro localidades ubicadas en la parte central de la zona de colecta rebasaron límites, tres el nivel B y una, al este de la isla el nivel D (más de 1000 bacterias/100g). En secas no se alcanzaron estas concentraciones, el registro más elevado fue de nivel C (entre 200 y 1000 bacterias/100g) frente al estero Tancochín.



**Fig. 8. Niveles de contaminación por coliformes fecales en la laguna de Tamiahua.**

Las bacterias coliformes fecales se encontraron en altas concentraciones en todas las localidades durante la estación de lluvias, particularmente en la parte central y al sur de la zona de colecta. La contaminación en nortes y secas no fue tan marcada. Los sedimentos indicaron también contaminación en lluvias, pero siempre se presentó por lo menos una localidad con niveles altos de bacterias en las tres estaciones del año. Con base en este grupo indicador, la estación de lluvias presentó muy malas condiciones. El resto del año la contaminación se consideró menor, pero constante.

El grupo estreptococos fecales presentó menores concentraciones y su frecuencia de aislamiento fue ligeramente menor a la de bacterias coliformes (tabla 13).

**Tabla 13. Frecuencia de aislamiento de los grupos de bacterias.**

		Lluvias		Nortes		Secas	
		Muestras	(%)	Muestras	(%)	Muestras	(%)
Agua	Coliformes totales	36/48	75	28/30	93	22/32	69
	Coliformes fecales	33/48	69	23/30	77	15/32	47
	Estreptococos fecales	33/48	69	22/30	73	16/32	50
Sedimento	Coliformes totales	14/14	100	11/14	79	5/8	62
	Coliformes fecales	14/14	100	11/14	79	5/8	62
	Estreptococos fecales	10/14	71	8/14	57	4/8	50

La distribución de localidades contaminadas fue diferente a la de los grupos coliformes (Fig. 9). Durante la estación de lluvias las dos localidades que alcanzaron el nivel C en agua se ubicaron al norte de la isla y en la Boca de Corazones. En la estación de nortes solamente se alcanzó el nivel A, en el oeste de la isla y en la boca de Corazones. La estación de secas no presentó contaminación en superficie, mientras que en agua de fondo, frente al estero Tancochín se alcanzó el nivel C y al norte de la isla el nivel A. A pesar de las mayores concentraciones en lluvias, las variaciones entre estaciones no fueron significativas, como se indicó anteriormente.

Las concentraciones de estreptococos en sedimento presentaron por lo menos una localidad con el nivel D ó E en las tres épocas, ya anteriormente se indicó que el sedimento no presentó variaciones importantes entre las estaciones. Así que, de alguna manera, los contenidos de estreptococos en sedimento permanecieron constantes en el año.

Debido a que las concentraciones y frecuencia de aislamiento de estreptococos fueron menores a las de coliformes, la laguna se consideró contaminada todo el año con niveles bajos de bacterias.

La relación CF/EF, indicó que la contaminación fue preponderantemente de origen humano en agua, durante las estaciones de lluvias y nortes. En estas, el 37.5% de las muestras en lluvias y el 40% en nortes, tuvieron un valor por arriba de 4.0, mientras que únicamente el 18.7% y el 20% de las muestras, respectivamente, pudieron atribuirse a origen animal al presentar una relación CF/EF < 0.7, es decir, aproximadamente la mitad. El 43.7% y 40% de las muestras en lluvias y nortes no tuvieron un origen claro, en estas, la relación  $0.7 < CF/EF < 4.0$ ; o bien, no presentaron bacterias, como fue el caso del 14.5% de las muestras en lluvias y el 3.33% de las muestras en nortes. Los porcentajes de muestras atribuibles a origen humano o animal en secas fue de 21.9%, siendo el 56.2% restante indeterminado, el 25% de las muestras no tuvieron bacterias. El sedimento tuvo un comportamiento diferente. En lluvias, la contaminación fue de origen humano (71.4% de las muestras, contra 7.1% de origen animal). En nortes no pudo determinarse, ya que el 35.7% fue de origen humano y 42.5% animal. Y en secas el 37.5% de las muestras fue de origen animal, contra el 12.5% de origen humano, de manera que en secas la contaminación en sedimentos fue preponderantemente animal.

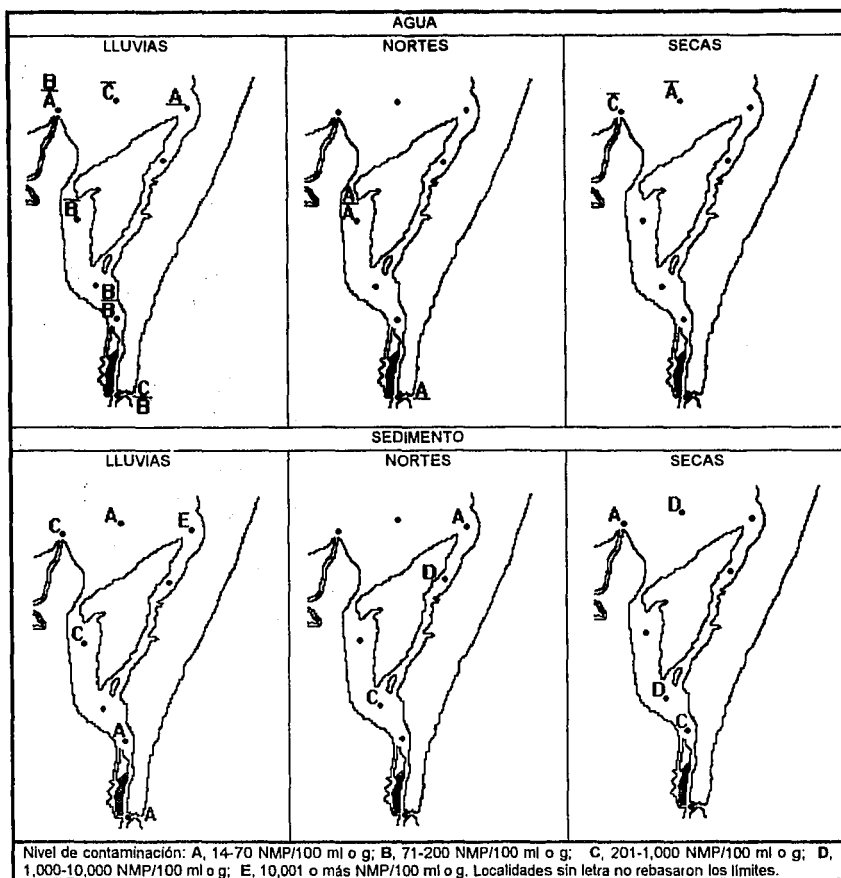


Fig. 9. Contaminación por estreptococos fecales en la laguna de Tamiahua.

Los parámetros fisicoquímicos, que fueron obtenidos simultáneamente a la toma de muestras de bacterias, indicaron escasas relaciones con las concentraciones de las mismas, que se indican a continuación.

## RELACION DE LAS CONCENTRACIONES DE BACTERIAS CON PARAMETROS FISICOQUIMICOS

Los registros de parámetros fisicoquímicos se obtuvieron simultáneamente a la toma de muestras. El promedio de estos se indica en la tabla 14. Fueron relacionados con las concentraciones de bacterias, encontrándose que la salinidad fue el factor que presentó las asociaciones más relevantes. Estas se indican en la tabla 15.

**Tabla 14. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos registrados en la laguna de Tamiahua.**

Promedio	General	Lluvias	Nortes	Secas		Mínimo	Máximo
Oxígeno disuelto (mg/l)	6.86	6.05	8.35	6.71		0.87	15.31
pH	7.3	7.6	7.5	6.9		6.2	8.6
Temperatura (°C)	26.6	30.8	22.2	24.6		19.5	37.0
Salinidad (‰)	29.1	27.9	28.1	36.6		10.0	38.4
Transparencia (m)	0.60	0.55	0.50	0.70		0.15	2.10
Profundidad (m)	1.60	16.0	1.80	1.60		0.50	4.20

**Tabla 15. Correlación de los parámetros fisicoquímicos con los grupos de bacterias en la laguna de Tamiahua.**

	Lluvias	$r_c$	$\alpha$	Nortes	$r_c$	$\alpha$	Secas	$r_c$	$\alpha$
Agua superficial	CT - S‰	-0.48	0.02	CF-T	0.71	<0.01			
	CF - S‰	-0.49	0.02						
	EF - S‰	-0.38	0.06						
Agua de fondo	CF - S‰	-0.43	0.03	CT-Tr	0.61	0.02			

CT, Coliformes totales; CF, Coliformes fecales; EF, *Streptococcus* fecales; S‰, Salinidad; T, Temperatura; Tr, Transparencia. Índice de correlación de Spearman significativo a  $\alpha$  0.05

La salinidad en la estación de lluvias tuvo un valor promedio de 27.9 ‰, la más baja del ciclo anual. En esta estación se presentó un valor mínimo de 10 ‰ frente al estero Tancochín. Las salinidades más bajas se ubicaron en general la parte norte de la región de colecta. Altas concentraciones de bacterias coliformes totales también se asociaron a la parte norte, siendo el estero Tancochín una de las localidades más contaminadas por este grupo, donde alcanzaron hasta 5425 bacterias/100 ml. El grupo coliformes fecales presentó correlación negativa con la salinidad, tanto en superficie como en fondo, registrándose hasta 1315 bacterias /100 ml en el lado oeste de la isla del idolo en agua de 24‰. La correlación negativa con *Streptococcus* no fue relevante ya que  $\alpha = 0.06$ , aunque nuevamente la concentración alta se asoció al estero Tancochín (395 bacterias/100 ml en agua de 25‰). En las estaciones restantes, nortes y secas, la salinidad no se relacionó con los grupos de bacterias.



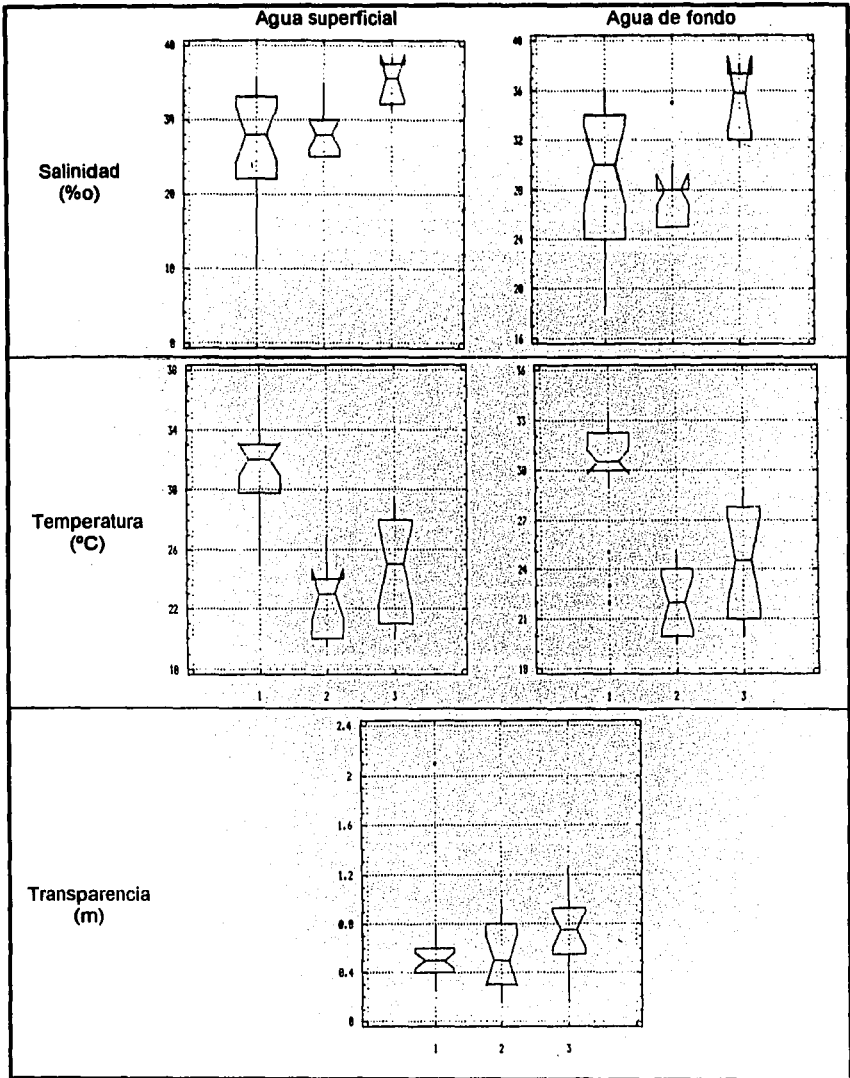
En la estación de nortes la temperatura mostró una correlación directa con coliformes fecales ( $r = 0.071$ ,  $\alpha < 0.01$ ), como se indica en la tabla 15. En esta estación el promedio fue de 22.2 °C, el menor del ciclo analizado. Las concentraciones altas de bacterias coliformes fecales se encontraron en la parte central de la región de colecta (50 y 100 bacterias/100 ml) y las temperaturas bajas se situaron en la parte norte, principalmente frente al estero Tancochín (mínimo registrado 19.5°C). La temperatura no se relacionó a los otros grupos en nortes, ni en las otras estaciones.

La mayor transparencia medida por disco de Secchi, se asoció a concentraciones altas de coliformes totales en nortes. Los puntos de mayor transparencia fueron el sur, el norte y el noreste de la isla del Idolo, así como la boca de Corazones, cuyos valores fluctuaron entre 80 cm y 1 m). Las concentraciones altas de coliformes totales se encontraron en estos sitios, con valores entre 572 y 1520 bacterias/100 ml. En esta estación la transparencia promedio fue de 50 cm, la menor del año, la más alta se presentó en secas, 70 cm y en esta época las bacterias no tuvieron correlación con la transparencia.

La salinidad, parámetro que tuvo mayor relación con bacterias, presentó los valores promedio más bajos en lluvias (27.9 ‰) y los mayores en secas (36.6 ‰). Las temperaturas más bajas se encontraron en nortes (22.2 °C) y las más altas en lluvias (30.8 °C). La transparencia también varió en cada estación. La fluctuación global puede apreciarse en la figura 10.

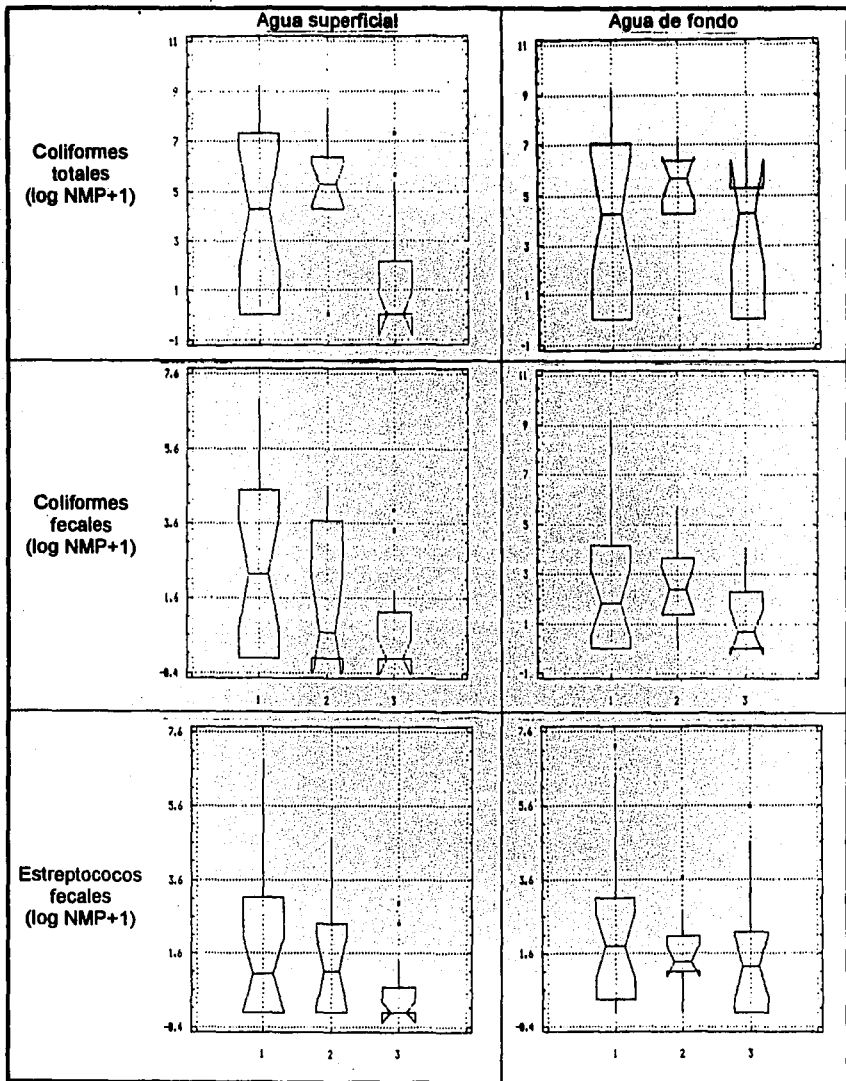
Todos los grupos de bacterias presentaron las concentraciones más altas en lluvias, y menores en secas, aún estreptococos, que no mostró diferencias estadísticamente significativas (Fig. 11).

Las concentraciones de coliformes en sedimento indicaron también mayores concentraciones en lluvias y menores en secas, mientras que en estreptococos, los niveles se conservaron estables (Fig. 12).



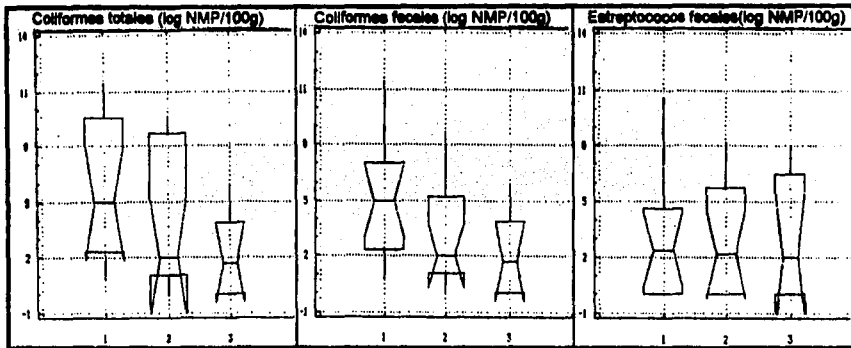
Estación 1 Lluvias, 2. Nortes, 3. Secas

Fig. 10. Fluctuación de la salinidad, la temperatura y la transparencia en la laguna de Tamiahua.



Estación 1. Lluvias, 2. Nortes, 3. Secas

**Fig. 11. Fluctuación de las concentraciones de bacterias en agua de la laguna de Tamiahua.**



Estación 1. Lluvias, 2. Nortes, 3. Secas

**Fig. 12. Fluctuación de las concentraciones de bacterias en sedimento de la laguna de Tamiahua.**

## CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA EN ESPECIES ACUÁTICAS COMERCIALES

### Contenidos bacterianos en el ostión *Crassostrea virginica*.

Las concentraciones de bacterias presentes en las muestras de ostión (tabla 16) indicaron que un elevado porcentaje de las muestras tenían altas concentraciones de bacterias, alcanzando incluso los niveles E (más de 1,000,000 de bacterias/100 g).

**Tabla 16. Concentraciones de bacterias y características morfométricas del ostión *Crassostrea virginica* de la laguna de Tamiahua.**

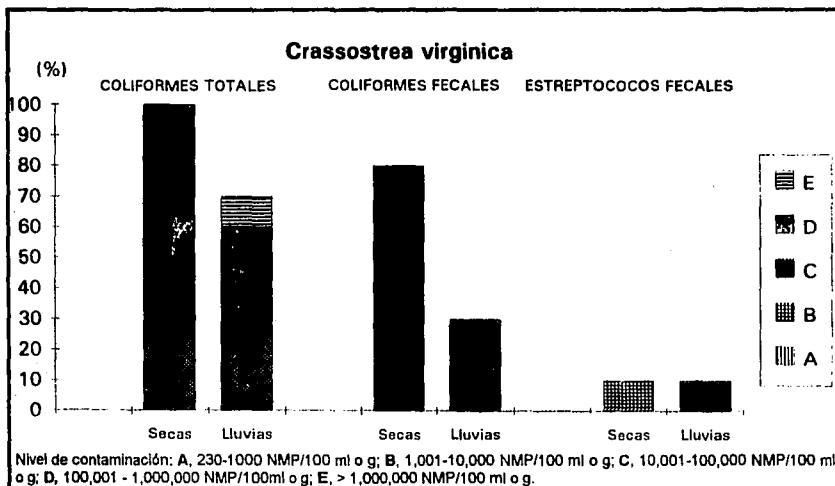
SECAS	Peso (g)	Longitud (cm)	Coliformes totales (NMP/100g)	Coliformes fecales (NMP/100g)	Estreptococos fecales (NMP/100g)	
Ostión	16.3	9.0	73656	0	4417	
	18.0	7.0	548000	210967	0	
	38.5	11.5	140906	14865	0	
	46.2	13.0	21303	0	0	
	49.0	11.0	201306	11680	0	
	30.0	8.0	126547	126547	0	
	21.0	8.0	258329	258329	0	
	32.0	10.3	274000	274000	0	
	37.0	10.3	236973	14572	0	
	63.2	13.0	60070	60070	0	
	Promedio	35.1	10.1			
	Mediana			188940	21132	0
	Agua			0	0	0
Sedimento			0	0	120	
INICIO DE LLUVIAS	Peso (g)	Longitud (cm)	Coliformes totales (NMP/100g)	Coliformes fecales (NMP/100g)	Estreptococos fecales (NMP/100g)	
Ostión	22.7	10	31630	31630	0	
	24	10	29917	29917	29917	
	27.8	12	68367	25827	0	
	32.4	10	0	0	0	
	33.8	13	0	0	0	
	10.1	8.5	724247	0	0	
	17.2	11.8	883639	0	0	
	19.1	10.5	2480251	0	0	
	20	8	0	0	0	
	23.1	9.5	167177	0	0	
	Promedio	23.0	10.3			
	Mediana			49973	0	0
	Agua			0	0	0
Sedimento			7180	7180	0	

Las concentraciones de bacterias se consideraron semejantes en ambos muestreos (tabla 17), pero el porcentaje de muestras contaminadas fue mayor en secas (Fig. 13). En esta estación la relación CF/EF > 4.0 indicó que la contaminación fue de origen humano.

**Tabla 17. Valores de la prueba de U de Mann Whitney para la comparación de las concentraciones de bacterias en ostión *Crassostrea virginica* de la laguna de Tamiahua, en secas y lluvias.**

	Coliformes totales	Coliformes fecales	Estreptococos fecales
Z	1.02	-1.70	0
$\alpha$	0.31	0.09	1

Prueba de U de Mann-Whitney



**Fig. 13. Porcentaje de muestras contaminadas en ostión *Crassostrea virginica* de la laguna de Tamiahua.**

La longitud promedio de los ejemplares fue semejante en ambas colectas (10.5 cm en mayo y 10.3 cm en junio), pero el peso de los ostiones fue significativamente mayor en secas (35.1g promedio), respecto a lluvias (23.0 g promedio), indicado por t de student ( $t=2.55$  con  $\alpha = 0.01$ ).

Durante secas, en el mayor porcentaje de muestras se encontraron altas concentraciones, el agua de los bancos ostrícolas no presentó bacterias coliformes, únicamente el sedimento con 120 estreptococos fecales/100 g. La concentración de oxígeno disuelto fue 9.3 mg/l, la temperatura 30.5 °C y el pH 8.3. En lluvias, con menor porcentaje de muestras contaminadas, en el agua tampoco se encontraron bacterias, pero se registraron en sedimento 7180 coliformes /100 g. Los factores fisicoquímicos fueron: oxígeno disuelto 7.5

mg/l, temperatura 33 °C y pH 8.3. Así, se consideró que los contenidos bacterianos del ostión no reflejaron los contenidos ambientales.

Las concentraciones determinadas en cada ejemplar analizado en la presente investigación indicaron que cada organismo puede acumular diferentes concentraciones de bacterias. La concentración obtenida por macerado no podría indicar esta situación.

Las concentraciones de bacterias no presentaron correlación con la longitud de los ostiones, el peso bajo, sin embargo se asoció a altas concentraciones de coliformes totales en la estación de lluvias (tabla 18). La longitud y el peso tuvieron una relación directa en secas ( $r_s = 0.87$ ,  $\alpha = 0.01$ ), pero en lluvias el peso no varió proporcionalmente a la longitud ( $r_s = 0.43$ ,  $\alpha = 0.19$ ).

**Tabla 18. Valores de correlación de las concentraciones de bacterias con aspectos morfométricos del ostión *Crassostrea virginica* de la laguna de Tamiahua.**

		Secas			Lluvias		
		Coliformes totales	Coliformes fecales	Estreptococos fecales	Coliformes totales	Coliformes fecales	Estreptococos fecales
Longitud	$r_s$	-0.47	-0.56	-0.17	0.09	0.12	-0.06
	$\alpha$	0.15	0.09	0.59	0.78	0.70	0.86
Peso	$r_s$	-0.18	-0.27	-0.52	-0.71	0.21	0.17
	$\alpha$	0.57	0.40	0.11	0.03 *	0.51	0.60

\* Índice de correlación de Spearman significativo a  $\alpha 0.05$

### Contenidos bacterianos en la jaiba *Callinectes sapidus*.

Los ejemplares colectados pertenecieron casi en su totalidad a la especie *sapidus*, y en mucho menor proporción a las especies *similis* y *rathbunae*, por lo que la interpretación estadística se redujo a la primera especie mencionada (tabla 19).

A diferencia del ostión, cuyas concentraciones de bacterias se consideraron de poca variación, la jaiba presentó diferencias significativas en las concentraciones de bacterias en hemolinfa determinadas en cada estación (tabla 20).

Durante la estación de lluvias la hemolinfa alcanzó concentraciones de coliformes fecales catalogadas como de nivel C (de 10,001 a 100,000 bacterias/100 ml) en el 19.2% de las muestras de *C. sapidus*, mientras que en nortes y secas solamente el 3.8% y 4.2% respectivamente presentaron este nivel. En el caso de estreptococos las muestras que alcanzaron el nivel C fueron el 30.8% en lluvias, el 8.3% en secas y no se encontraron estreptococos en nortes (Fig. 14).

La contaminación en lluvias, se interpretó como de origen humano porque el 46.1% de las muestras tuvo una relación CF/EF > 4.0 y solo 2.3% fueron menores a 0.7; igualmente en nortes, ya que 19.1% tuvo una relación CF/EF > 4.0 y no hubo menores a 0.7. En la estación

de secas, sin embargo, el 8.3% de las muestras se consideraron de origen humano y un porcentaje igual, se consideró de origen animal.

**Tabla 19. Concentraciones de bacterias en hemolinfa y características morfométricas de jaiba de la laguna de Tamiahua.**

NORTES			SECAS			LLUVIAS		
<i>Callinectes sapidus</i>								
Longitud (cm) y sexo	CF	EF	Longitud (cm) y sexo	CF	EF	Longitud (cm) y sexo	CF	EF
11.5 H	0	0	10.0 H	718	0	9.5 H	601	0
11.5 H	0	0	10.5 H	0	0	11.0 H	0	98679
11.5 H	0	0	10.5 H	0	0	12.0 H	1468	12006
11.6 H	3158	0	11.0 H	5178	18983	12.0 H	610	1468
12.0 H	0	0	11.0 H	98640	87678	12.0 H	1901	0
12.4 H	718	0	11.5 H	0	0	12.0 H	3797	87679
12.5 H	0	0	11.5 H	0	0	12.0 H	87679	0
13.0 H	0	0	14.2 H	0	0	12.0 H	87679	2163
13.5 H	98640	0	15.0 H	0	0	12.0 H	87679	37966
14.5 H	1900	0	16.5 H	0	0	12.5 H	601	0
15.2 H	0	0	9.5 M	0	0	12.5 H	6241	87679
16.5 H	0	0	9.5 M	0	718	13.0 H	3797	601
17.5 H	5723	0	10.0 M	0	0	13.5 H	0	0
11.0 M	0	0	10.0 M	0	0	14.0 H	601	0
11.0 M	0	0	10.0 M	0	0	14.0 H	718	0
11.5 M	0	0	10.0 M	718	0	14.0 H	5400	9141
11.5 M	0	0	10.5 M	0	0	10.0 M	0	0
11.5 M	0	0	10.7 M	0	0	10.0 M	6242	87679
12.0 M	0	0	11.0 M	0	0	10.5 M	601	601
12.0 M	0	0	11.0 M	0	0	11.0 M	0	87679
12.5 M	0	0	11.5 M	0	0	11.0 M	610	0
13.0 M	0	0	13.0 M	0	0	11.0 M	1468	12003
13.0 M	0	0	13.0 M	0	0	11.0 M	18983	0
14.0 M	0	0	13.5 M	0	0	13.0 M	6003	610
14.4 M	0	0				14.0 M	2523	5425
17.6 M	0	0				14.0 M	87679	0
<i>C. similis</i>								
			9.0 H	2727	98640			
			10.5 H	0	0			
			7.5 M	718	0			
			8.0 M	0	0			
			8.5 M	0	0			
<i>C. rathbunae</i>								
			10.3 H	0	0	11.0 M	54248	87679
			9.5 M	0	0			

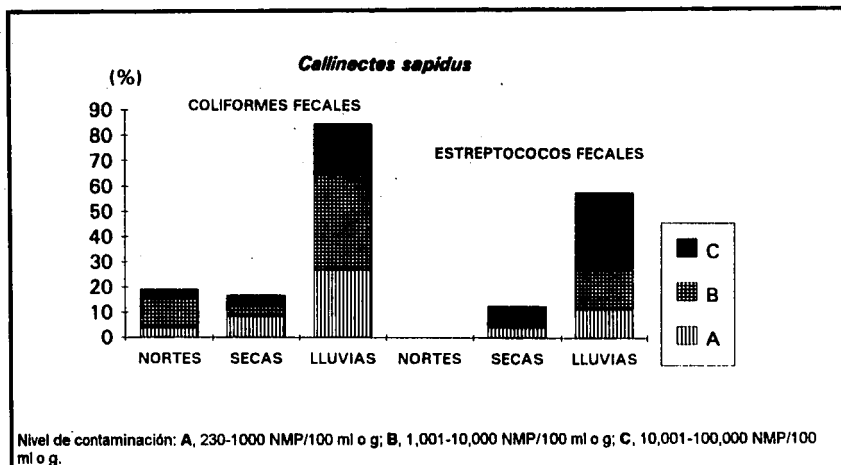
CF, Coliformes fecales / 100 ml de hemolinfa; EF, Estreptococos fecales / 100 ml de hemolinfa; H, hembra; M, macho.

**Tabla 20. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de las concentraciones bacterianas en hemolinfa de *Callinectes sapidus* en las tres estaciones.**

	Coliformes fecales	Estreptococos fecales
H	26.93	27.96
$\alpha$	<0.001*	<0.001*

\* Diferencias significativas.





**Fig. 14. Porcentaje de muestras contaminadas en jaiba *Callinectes sapidus* de la laguna de Tamiahua.**

La longitud promedio del caparazón de los ejemplares de *C. sapidus* fue de 12.2 cm, siendo el promedio para la estación de nortes 13.0 cm, para secas 11.5 cm y para lluvias 12.0 cm. La longitud en nortes se consideró estadísticamente diferente a la de secas y lluvias de acuerdo a la prueba de ANOVA ( $F = 0.25$  y  $\alpha = 0.01$ ).

No se encontró correlación entre la concentración de bacterias en hemolinfa y la longitud de caparazón en ninguna estación considerando ambos sexos. La longitud de hembras fue mayor a la de machos de acuerdo a la prueba de *t* de Student ( $t = 2.27$ ,  $\alpha = 0.03$ ), y las hembras acumularon en nortes coliformes totales, mientras que los machos no. En secas y lluvias, las concentraciones en hembras y machos, tanto de coliformes como de estreptococos fecales se consideraron iguales estadísticamente (tabla 21).

**Tabla 21. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de los contenidos bacteriológicos entre sexos en *Callinectes sapidus* de la laguna de Tamiahua.**

		Nortes	Secas	Lluvias
Coliformes fecales	H	5.87	2.3	0.001
	$\alpha$	0.01*	0.12	0.97
Estreptococos fecales	H	No hubo bacterias	1.03	0.05
	$\alpha$		0.30	0.82

\* Diferencias significativas.

Pero aunque las hembras tuvieron mayor longitud y concentraciones asociadas de coliformes fecales que no presentaron los machos (Fig. 15), no se encontró correlación entre las concentraciones de coliformes fecales y las longitudes de las hembras (tabla 22).

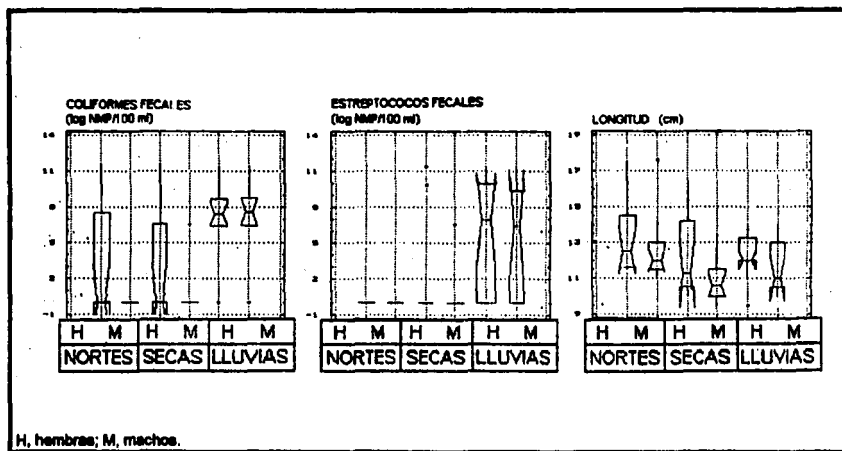


Fig. 15. Concentraciones de bacterias y longitud de los caparazones de las jaibas *Callinectes sapidus* de la laguna de Tamiahua.

Tabla 22. Valores de correlación entre concentraciones de bacterias y longitud de caparazón en hembras y machos de *C. sapidus*.

		Nortes		Secas		Lluvias	
		Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos
Coliformes fecales	$r_f$	0.34	No hubo en machos	-0.43	-0.21	-0.03	0.45
	$\alpha$	0.23	en machos	0.19	0.45	0.91	0.17
Estreptococos fecales	$r_f$	No se aislaron bacterias	No se aislaron bacterias	-0.17	-0.41	-0.41	-0.09
	$\alpha$			0.60	0.13	0.11	0.77

**Contenidos bacterianos en los peces *Mugil cephalus*.**

En las estaciones muestradas se encontraron organismos de los cuatro estados de madurez gonádica, predominando en secas los estadios I y II, y en lluvias II y III (tabla 23). La longitud promedio en secas fue 38.5 cm y el peso 480.8 g, en lluvias la longitud promedio fue 38.9 cm y el peso 632.6 g.

**Tabla 23. Concentraciones de bacterias y características morfométricas de los peces *Mugil cephalus* de la laguna de Tamiahua en secas.**

SECAS						
Número de ejemplares	Sexo	Estado de madurez gonádica	Longitud promedio (g)	Peso promedio (g)	Coliformes totales mediana (NMP/100g heces)	Coliformes fecales mediana (NMP/100g heces)
5	H	I	32.7	355.14	3,000	2,255
3	M		32.1	345.50	> 100,000	0
15	H	II	38.7	460.94	3,000	1,467
7	M		36.8	470.48	3,010	3,010
5	H	III	37.9	556.08	> 100,000	4,124
3	M		37.4	540.80	87,700	6,511
2	H		IV	43.1	778.90	> 100,000
3	M	38.4		561.80	> 100,000	7,634
LLUVIAS						
2	H	I	39.9	647.50	20,090	19,704
1	M		36.9	539.00	27,727	27,727
18	H	II	38.0	614.17	87,700	19,150
8	M		37.2	556.09	41013	6781
13	H	III	40.7	695.68	87,700	14,350
4	M		37.2	564.07	57,600	10,855
8	H	IV	40.6	695.75	19,000	16,675
1	M		37.6	578.0	87,700	87,700

El peso y la longitud de los ejemplares fueron mayores en la estación de lluvias (tabla 24).

**Tabla 24. Valores de la prueba de t de student para la comparación de las concentraciones de bacterias en heces y aspectos morfométricos de la lisa *Mugil cephalus* de la laguna de Tamiahua en secas y lluvias.**

	Longitud	Peso
t	3.27	-6.19
$\alpha$	0.001*	<0.001*

\* Diferencias significativas.

En secas, el peso y la longitud se incrementaron de manera paulatina en relación a los estados de madurez gonádica, pero en lluvias no hubo un aumento importante en el peso asociado a cada estado de madurez (tabla 25). Debido a esto, se determinó el factor de condición de los ejemplares.

**Tabla 25. Valores de ANOVA para establecer diferencias entre los pesos y longitudes de cada estado de madurez gonádica de la lisa (*M. cephalus*) de la laguna de Tamiahua.**

	Secas		Lluvias	
	Peso	Longitud	Peso	Longitud
F	8.96	5.28	2.36	2.9
$\alpha$	<0.001*	0.03*	0.08	0.04*

\* Diferencias significativas.

El factor de condición se basó en la relación talla y peso obtenida por Ibañez (1995), para *M. cephalus* de la laguna de Tamiahua, definida por la ecuación:

$$W = 3.29 \times 10^{-5} (L)^{2.80}$$

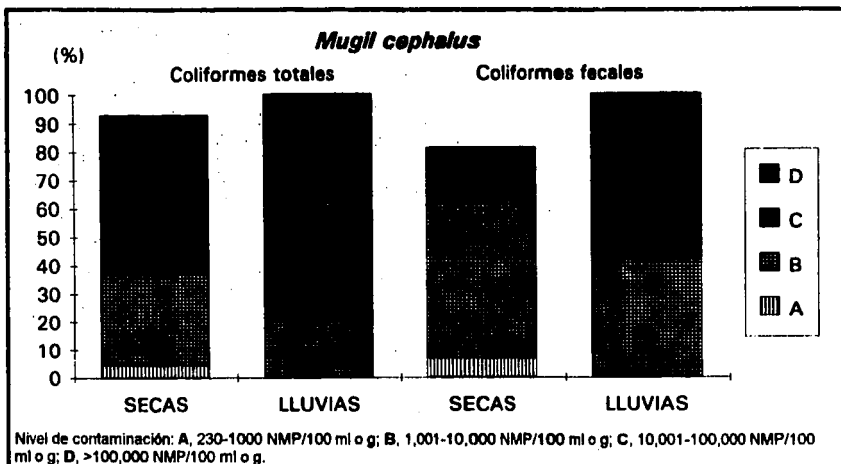
Este factor se consideró similar al obtenido en los ejemplares (tabla 26).

**Tabla 26. Factor de condición obtenido para *M. cephalus* en cada estación ( $\times 10^{-5}$ ).**

	Secas	Lluvias	General
Promedio	3.13	3.57	3.38
$\sigma$	0.326	0.768	0.649

Las concentraciones de bacterias presentaron el siguiente comportamiento: la mediana de las concentraciones fue de 87,700 coliformes/100 g de heces en la estación de lluvias, mientras que en la estación de secas las medianas fueron 23,100 coliformes totales/100 g y 3,010 coliformes fecales/100 g.

En la estación de secas, las concentraciones de coliformes totales más altas (nivel D, con más de 100,000 bacterias/100 g de heces), se registraron en 16 ejemplares de lisa (37.2%), dos ejemplares (4.6%) alcanzaron este nivel en coliformes fecales. En lluvias hubo doce ejemplares que alcanzaron el nivel D en coliformes totales (21.8%) y siete (12.7%) coliformes fecales (Fig. 16).



**Fig. 16. Porcentaje de muestras contaminadas por coliformes en lisa *Mugil cephalus* de la laguna de Tamiahua.**

El grupo coliformes totales no demostró diferencias entre las concentraciones de lluvias y secas (tabla 27). Respecto a coliformes fecales, tanto el número de muestras que alcanzaron el nivel D, así como las concentraciones, fueron mas altas en lluvias.

**Tabla 27. Valores de la prueba de U de Mann Whitney para la comparación de las concentraciones de bacterias en heces de la lisa *Mugil cephalus* de la laguna de Tamiahua en secas y lluvias.**

	Coliformes totales	Coliformes fecales
Z	1.41	6.57
$\alpha$	0.16	<0.001*

\* Diferencias significativas.

La correlación entre concentraciones de bacterias y aspectos morfológicos en la lisa, indicó que las mayores concentraciones de coliformes totales se asociaron a organismos de mayor estado de madurez gonádica y de mayor factor de condición en secas. Mientras que en lluvias todos los estados de madurez estuvieron igualmente contaminados con altas concentraciones de bacterias coliformes, casi todas las cuales eran fecales (tabla 28).

**Tabla 28. Correlación entre concentraciones de bacterias y aspectos morfométricos de la lisa *M. cephalus* de la laguna de Tamiahua.**

		Secas	Lluvias	
		Coliformes totales	Coliformes fecales	Ambos grupos
Peso	$r_j$	0.21	0.11	0.12
	$\alpha$	0.15	0.44	0.34
Longitud	$r_j$	0.08	0.05	-0.003
	$\alpha$	0.59	0.70	0.99
Factor de condición	$r_j$	0.60	0.31	0.16
	$\alpha$	<0.001*	0.44	0.21
Estado de madurez gonádica	$r_j$	0.45	0.31	-0.03
	$\alpha$	0.003*	0.04	0.77

\* Índice de correlación de Sperman significativo a  $\alpha$  0.05.

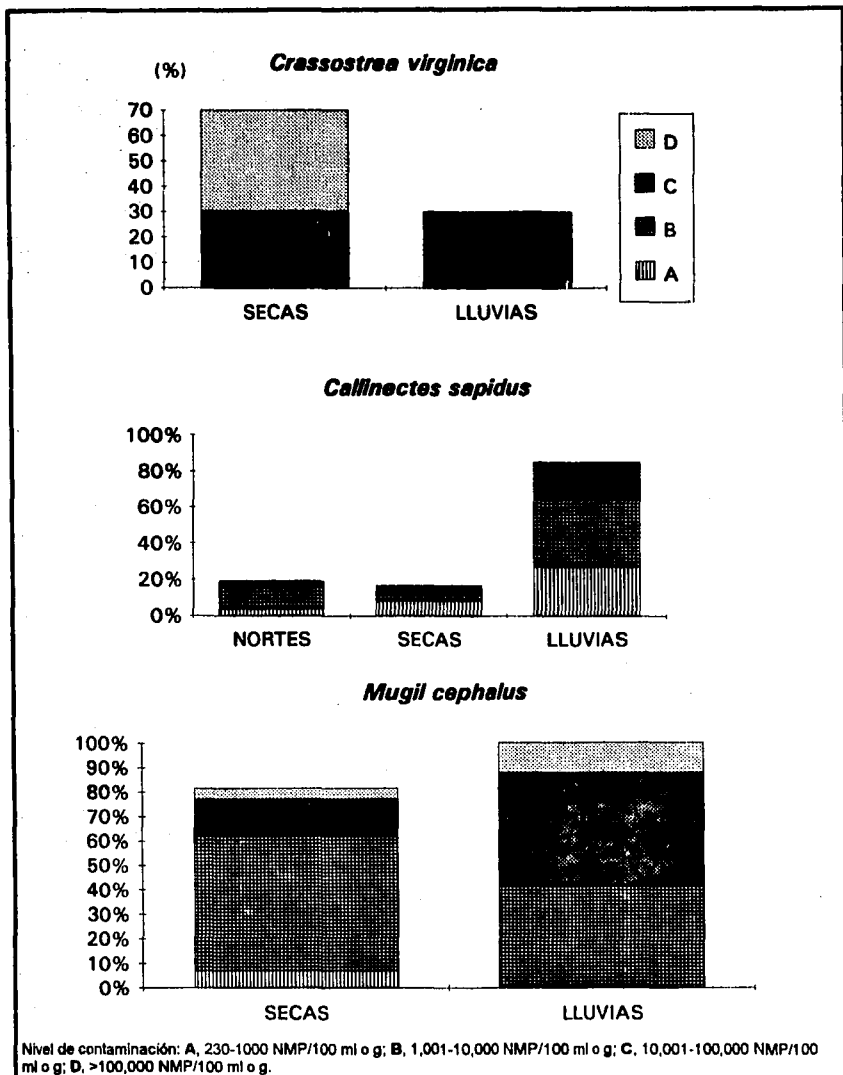
En relación a los estados de madurez gonádica; en secas, las concentraciones de bacterias coliformes totales que se presentaron en el tercer y cuarto estado, fueron significativamente superiores a las de los otros dos estados. Mientras que las coliformes fecales presentaron concentraciones semejantes en los cuatro estados, en este grupo, la mayor parte de los datos estuvo por debajo de las 10,000 bacterias/100 g de heces, con algunos casos extremos en todos los estados de madurez (tabla 29). En lluvias, todos los estados de madurez presentaron altas concentraciones y estas se consideraron estadísticamente similares. Practicamente todas las bacterias fueron fecales en esta estación. A pesar de que las hembras tuvieron mayor incidencia de bacterias que los machos, no hubo diferencias estadísticas entre los contenidos de ambos sexos.

**Tabla 29. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis para establecer diferencias entre las concentraciones de bacterias de cada estado de madurez gonádica de la lisa (*M. cephalus*) de la laguna de Tamiahua.**

	Secas		Lluvias	
	Coliformes totales	Coliformes fecales	Coliformes totales	Coliformes fecales
H	12.88	4.70	5.19	5.19
$\alpha$	0.004*	0.19	0.16	0.16

\* Diferencias significativas.

Las especies *Crassostrea virginica* y *Mugil cephalus* no fueron colectadas en estación de nortes, pero pudieron compararse las concentraciones de secas y lluvias. Los resultados indicaron mayor contaminación en la estación de lluvias para las especies *Callinectes sapidus* y *Mugil cephalus*. Las concentraciones de bacterias del ostión *Crassostrea virginica* no presentaron diferencias significativas entre las estaciones de secas y lluvias, pero los porcentajes de muestras contaminadas fueron mayores en secas (Fig. 17).



**Fig. 17.** Porcentaje de muestras contaminadas por coliformes fecales en ostión *Crassostrea virginica*, jaiba *Callinectes sapidus* y lisa *Mugil cephalus* de la laguna de Tamiahua.

## VI DISCUSION

El reglamento para la prevención de la contaminación del agua (Diario Oficial 1973), los criterios de límites máximos permisibles de calidad sanitaria (Diario Oficial, 1989), así como los proyectos de normas que definen límites para la emisión de industrias, aguas de alcantarillado y cuerpos receptores (Diario Oficial, 1993 y 1995), son los únicos elementos oficiales con los que se cuenta, hasta la fecha, para evaluar si el agua reúne las condiciones microbiológicas necesarias para la preservación de la vida acuática y diversos usos. Dichos elementos están basados en la determinación del número más probable de bacterias coliformes totales o coliformes fecales, grupos típicos de contaminación fecal humana. De acuerdo a ellos, la laguna de Tamiahua no reúne las condiciones adecuadas para cultivo de moluscos bivalvos, actividad que se desarrolla en la laguna.

La calidad sanitaria solo esta definida para agua, los sedimentos no se involucran en los criterios. Los resultados obtenidos indicaron que el sedimento puede contener altas concentraciones de bacterias indicadoras de contaminación fecal humana y no existió concordancia entre las concentraciones del agua y las del sedimento.

No existen diferencias importantes entre contenidos de bacterias en agua de superficie y de fondo. Podría suponerse que existe mezcla constante del agua debido a que la profundidad promedio es solo de 2.2 m (de la Lanza y Cáceres, 1994) y las corrientes más importantes son de 20 cm/seg (Botello, 1994). La mezcla del agua en lluvias es mucho mayor que en las otras estaciones, ya que las concentraciones en superficie y fondo presentaron correlación en lluvias en los tres grupos de bacterias. En nortes solo el grupo coliformes totales tuvo altas correlaciones con estreptococos en agua de superficie y en secas las bacterias de agua no presentaron correlación entre si.

A pesar de que hubo marcadas variaciones en las concentraciones de bacterias, pudo apreciarse que los niveles más altos (por arriba de 1000 bacterias/100ml), se presentaron en las localidades ubicadas frente a Boca de Corazones y las cercanas al estero Tancochín. El primero situado cerca de la ciudad de Tamiahua, y el segundo recibe agua residual proveniente de la ciudad de Naranjos. Las concentraciones de coliformes, mostraron una marcada estacionalidad en agua superficial y sedimento con mayores concentraciones en la estación de lluvias. De manera que estos indicadores fueron útiles para establecer cambios estacionales en la calidad del ambiente y la importancia de los mayores aportes a la laguna.

Las bacterias coliformes han sido indicadores de uso generalizado, cuyas concentraciones aceptadas como límites se definieron originalmente para agua dulce. Estos límites se extrapolaron a zonas estuarinas y marinas sin un conocimiento profundo del comportamiento de estas bacterias en diferentes ambientes.

En la práctica, las concentraciones de bacterias que rebasan los límites máximos permisibles son relativamente fáciles de interpretar para agua potable y son útiles para establecer la calidad sanitaria del agua, pero cuando se desea interpretar la influencia ambiental, no existen pautas claras para su interpretación.

En la interpretación debe considerarse que, en condiciones poco propicias para la sobrevivencia de bacterias que no forman esporas, se generan modificaciones que dan



diferencias en sus respuestas bioquímicas y de patogenicidad (Girón y Giono, 1989). Cuando se realizan conteos, estos están basados en sus respuestas metabólicas en medios de cultivo para determinación de números más probables, las bacterias pueden encontrarse como formas viables no cultivables (Munro *et al.*, 1987). Lo que implica que pueden subevaluarse cuando se aíslan del ambiente salobre o marino.

La capacidad de las coliformes para sobrevivir en sedimento en ambientes tropicales ha llevado incluso a cuestionar la utilidad de este grupo como indicador ideal (Boardman *et al.*, 1988). Los aportes continuos involucran, además del riesgo sanitario, un riesgo potencial para la comunidad bacteriana natural que podría competir desventajosamente contra las bacterias entéricas saprófitas, que se adicionan continuamente con materia orgánica, a través del agua residual. De manera que las normas y criterios de calidad sanitaria del agua, basándose en un solo indicador, no consideran su interacción con el sedimento, ni con otros organismos considerados contaminantes microbiológicos, ni con los propios del sistema.

Indicadores complementarios como el grupo de estreptococos fecales, dan un panorama más amplio de la contaminación fecal proveniente de agua continental hacia ambientes costeros. Pettibone *et al.*, (1987), indicaron que la mayor tolerancia y sobrevivencia de los estreptococos fecales los hace incluso mejores indicadores que el grupo coliformes.

Ambos grupos pueden encontrarse en sedimento y sobrevivir cierto tiempo modificando sus respuestas fisiológicas (Munro *et al.*, 1987). Los estreptococos fecales son más resistentes a la radiación solar que los coliformes cuando se encuentran en agua de mar (Fujioka *et al.*, 1981).

La determinación de estreptococos fecales es obligatoria en varios países. Los límites propuestos para este grupo en la Comunidad Económica Europea son semejantes a los de coliformes fecales; como es el caso del agua residual (100 bacterias/100 ml), agua de desecho doméstico y agua que requiere tratamiento elemental (20 bacterias/100 ml). En otras ocasiones, el límite para estreptococos es de la mitad de la concentración exigida para coliformes fecales; como es el caso del agua que requiere tratamiento químico y desinfección, cuyos límites son 2,000 coliformes fecales y 1,000 estreptococos fecales/100ml y los de agua que requiere tratamiento físico y químico, cuyos límites son 20,000 coliformes y 10,000 estreptococos fecales/100 ml (Evison, 1979). Los límites exigidos en estos países son más severos que los exigidos por la legislación mexicana y están determinados para otros ambientes, por lo que es inadecuado importarlos automáticamente.

Sin embargo, al no existir un límite para este grupo en México, se hizo necesario proponer uno para la interpretación de la calidad de las muestras analizadas en este estudio. En ausencia de información generada en el país, se utilizaron como base las concentraciones obtenidas en esta investigación. La mediana de estreptococos fecales fue frecuentemente la mitad de la mediana de coliformes fecales. En lluvias, la mediana de coliformes fecales (CF) fue 7.25 NMP/100ml, y la de estreptococos (EF) 3.5 NMP/100ml. En nortes las medianas fueron CF = 5.5 NMP/100ml y EF = 2.5 NMP/100ml, aunque en secas las medianas fueron las siguientes: CF = 0.5 NMP/100ml y EF = 1.25 NMP/100ml. Se ha comprobado que las concentraciones de estreptococos en heces humanas y animales, son aproximadamente la mitad de las concentraciones de coliformes fecales, las concentraciones promedio son 6-7 y 4-6 coliformes log NMP/100ml, y en el caso de estreptococos, de 3-4 y 2-3 log NMP/100 ml, respectivamente; registrándose además estreptococos en otras fuentes como insectos y vegetación (Cabelli, 1979; Evison, 1979). De manera que se utilizaron los límites máximos permitidos para coliformes fecales de la legislación mexicana (14 CF/100ml, siempre que no más del 10% de las muestras supere 43 CF/100ml), como guía para caracterizar al grupo e interpretar la contaminación generada por el mismo en la laguna de Tamiahua.

Los resultados indicaron que estos límites fueron adecuados para llegar a las mismas conclusiones sobre la calidad sanitaria del agua de la laguna, en el sentido de que no presenta las condiciones adecuadas para cultivo de moluscos, pero sí para la protección de la vida acuática y la recreación con contacto primario. Las concentraciones de estreptococos fueron aproximadamente la mitad de las de coliformes fecales, aunque el porcentaje de muestras contaminadas fue igual en ambos grupos, 64.5%.

Las localidades más contaminadas fueron diferentes para coliformes y estreptococos. Esto fue más evidente en la estación de lluvias, en la que se encontraron altas concentraciones de coliformes en toda la laguna, particularmente frente al estero Tancochín y Boca de Corazones, en donde se alcanzó el nivel D para coliformes totales (de 1,000 a 10,000 bacterias/100ml). Las mismas localidades, además de el este y oeste de la isla del Idolo presentaron las concentraciones altas de coliformes fecales (200 a 1,000 bacterias/100ml). Los estreptococos fecales, alcanzaron de 71 a 200 bacterias/100ml frente al estero Tancochín, oeste y sur de la isla del Idolo, y Boca de Corazones. Las bacterias coliformes en sedimento se encontraron alrededor de la isla del Idolo en niveles D y E (más de 10,000 bacterias/100g). En estreptococos se alcanzaron estas concentraciones (nivel E), únicamente al noreste de la isla. La estación de nortes tuvo un patrón de distribución semejante al de lluvias para coliformes totales en agua. Las coliformes fecales tuvieron concentraciones menores en nortes, alcanzando hasta 200 bacterias/100ml, alrededor de la isla del Idolo, los estreptococos en nortes fueron escasos. En secas, las concentraciones de coliformes fueron marcadamente menores a otras estaciones. El grupo estreptococos fecales no manifestó estacionalidad, por lo tanto se consideró más conservativo que las bacterias coliformes, presentándose con niveles menores pero constantes todo el año. Los estreptococos fecales fueron adecuados como indicador complementario, al manifestar contaminación fecal en sitios donde no se presentaron coliformes.

En relación a otros sistemas costeros mexicanos, las concentraciones registradas en la laguna son semejantes a concentraciones determinadas por otros autores en diversos sitios. Las concentraciones que indican son muy diferentes, pero los valores altos que se mencionan, fluctúan entre  $10^3$  y  $10^4$  bacterias coliformes/100 ml de agua (Botello *et al.*, 1995), resaltando: la laguna de Alvarado, con  $1.1 \times 10^5$  coliformes totales/100 ml (Ruiz *et al.*, 1990) y Coatzacoalcos con  $2.4 \times 10^5$  coliformes totales/100 ml (Rodríguez y Botello, 1987). Los valores de sedimento más altos han sido de  $10^6$  bacterias/100 ml (Botello *et al.*, 1995). Estos niveles se han registrado en el sistema lagunar Carmen-Machona y la laguna de Mecoacán (Botello y Rodríguez, 1982). En relación a los sistemas mencionados, la laguna de Tamiahua se encontró menos contaminada, ya que los valores más altos registrados fueron de  $10^4$  bacterias en agua y  $2.26 \times 10^4$  en sedimento. Estas concentraciones altas fueron semejantes a las registradas para el puerto de Veracruz (Farias y Camargo, 1981) y laguna de Términos (Romero *et al.*, 1986); es decir en un orden de  $10^4$  bacterias/100ml.

La contaminación por microorganismos de origen fecal en las zonas costeras del golfo de México es particularmente importante. Las especies de estos ambientes se enfrentan a variaciones ambientales naturales y a la contaminación, lo que puede disminuir la resistencia de los organismos y el impacto puede ser mayor en este tipo de ambientes (Rosas, *et al.* 1989). Muchas zonas costeras mexicanas son sometidas a presiones constantes por la contaminación fecal, de manera semejante a la laguna de Tamiahua.

Numerosos esteros desembocan en la laguna y recibe afluentes de zonas habitadas en donde es común el uso de letrinas elevadas sobre las riberas. La distribución de las concentraciones de bacterias en agua con dos grupos de localidades marcadamente contaminadas, uno situado al norte de la región de colecta frente al estero Tancochín y otro al sur, frente a la ciudad de Tamiahua y la Boca de Corazones; así como la distribución en sedimento, alrededor de la isla, particularmente al norte, al oeste y sur de la misma, con muy bajas concentraciones en la boca, aparentemente podrían estar influenciadas por la dinámica

de sedimentación de la laguna. Esta dinámica depende de un proceso de acumulación fluvio-deltaica en la ribera oeste y de un proceso erosivo ocasionado por corrientes de dirección norte que forman al canal paralelo a la barra de Cabo Rojo (Botello, 1994). Las bajas concentraciones en sedimento registradas en la boca podrían relacionarse con la corriente que sale de la laguna hacia el golfo de México.

La importancia del movimiento del agua y de las corrientes en relación a la dispersión de los grupos de bacterias coliformes ha sido mencionada por Morales y Orozco (1990), y Farias y Camargo (1981). La posibilidad de que altas concentraciones de bacterias, en agua de puntos de poca circulación se relacione con la baja velocidad de corrientes, ha sido sugerida por Domínguez (1979), quien plantea también, que parece existir una pequeña influencia de las mareas en las concentraciones bacterianas.

La mayor parte de los estudios en México, se han realizado en tomas de agua potable y depósitos diversos (Marín, 1991), así como en organismos con posibilidad de ser ingeridos crudos (Rosas *et al.*, 1985; Rodríguez-Santiago y Botello, 1987). La mayoría de las investigaciones se han abocado a bacterias coliformes; algunas a la identificación de especies entéricas, y no patógenas, que puedan ser aisladas de medios con lactosa, con o sin producción de gas y se ha aislado *Vibrio cholerae*, debido a su importancia (Hernández *et al.*, 1988; González *et al.*, 1988; González y Ruiz, 1989). Se han registrado factores fisicoquímicos simultáneos a la toma de muestras en algunos estudios, pero muy pocos los han relacionado con los niveles bacterianos.

Entre las investigaciones en las que se han evaluado parámetros fisicoquímicos simultáneamente a las bacterias y no se ha encontrado relación con estas, se encuentra el trabajo de Orozco y Gutiérrez-Galindo (1983). Otras (Toledo, *et al.* (1988), si han encontrado relación, indicando que altas concentraciones de bacterias se presentan asociadas a altas temperaturas, lo cual coincide con la correlación directa obtenida entre coliformes fecales y temperatura de agua superficial de la laguna, en la estación de nortes ( $r_1 = 0.71$ ,  $\alpha < 0.01$ ) durante la presente investigación.

Sin embargo, las conclusiones en relación a la salinidad han llegado a ser contradictorias, por un lado: Romero y Rodríguez (1982) encontraron una relación directa entre la salinidad y las concentraciones de bacterias en sitios cercanos a los aportes, donde hay abundancia de materia fecal, posiblemente animal; por otro lado, Pica (1988), indicó que las bajas concentraciones en estación de lluvias se debieron a un efecto derivado de la mayor dilución de la concentración de bacterias en un volumen mayor de agua, donde además influyó la salinidad de manera negativa; Rodríguez-Santiago y Botello (1987) encontraron también una relación inversa entre coliformes y salinidad. Estos asociaron las altas concentraciones con la remoción de sedimentos. Romero-Jarero, *et al.* (1986) sugirieron que las bajas concentraciones de bacterias en sequía y nortes en la laguna de Términos, Campeche, se relacionaron en sequías con la mayor salinidad, mientras que en los nortes influyeron los fuertes vientos.

Frecuentemente se han registrado altas concentraciones de bacterias en periodos de lluvias, así lo indican Rodríguez y Romero (1981), Romero-Jarero *et al.* (1986) y Orozco y Segovia (1986). En la laguna de Tamiahua se encontró correlación inversa con la salinidad en lluvias ( $r_1 = -0.48$ ,  $-0.49$  y  $-0.38$  para CT, CF y EF,  $\alpha = 0.02$ ). Particularmente frente al estero Tancochin, donde las concentraciones de bacterias fueron elevadas (5425 CT/100ml) y las salinidades bajas (10‰), este importante aporte recibe el agua de diversas industrias, además de la ciudad de Naranjos. La estación de lluvias presentó mayor contaminación que secas y nortes, pero las concentraciones en estación de lluvias fueron marcadamente diferentes entre julio de 1987 y julio 1988. En el muestreo de julio de 1987 se encontraron altas concentraciones de bacterias y la laguna presentó una salinidad promedio de 26‰.

mientras que en julio de 1988 se registraron pocas bacterias (con un máximo de 246 bacterias/100ml) y la salinidad del agua fue de 34 ‰ promedio. Por otro lado, las altas concentraciones registradas en la parte sur de la región de colecta, se asociaron a altas salinidades, por ejemplo, la boca de Corazones en julio de 1988 presentó 9864 coliformes fecales/100 ml en agua con 35.1 ‰ de salinidad. El sur de la región de colecta, recibe aportes del drenaje y letrinas elevadas de la ciudad de Tamiahua. De manera que la cercanía de los aportes de agua dulce a la laguna, parece tener más influencia en la concentración de las bacterias, que la acción de salinidad sobre estas.

La relación entre bacterias y parámetros no tiene concenso en las investigaciones mencionadas, diferentes autores parecen coincidir en la importancia de la cercanía de los aportes (Delgadillo y Orozco, 1987; Sañudo *et al.*, 1989; CONADE, 1992), así como en la influencia de las lluvias, que deriva en un aumento de bacterias por los escurrimientos (Domínguez, 1979). La resuspensión de sedimentos también parece afectar los contenidos de bacterias (Rodríguez-Santiago y Botello, 1987).

Según Rheinheimer (1987), la presencia de material particulado en suspensión produce un efecto favorable a las bacterias, así, la mayor turbidez se asocia a elevados números de bacterias, porque se presentan microambientes protectores. Se ha sugerido por experimentos *in vitro* (Munro *et al.*, 1987), que *E. coli* puede sobrevivir en agua de mar cuando se presentan altas concentraciones de materia orgánica proveniente de agua residual, adaptándose a situaciones de estrés, modificando sus respuestas fisiológicas. La presencia de material particulado en las aguas estuarinas de la laguna de Tamiahua podría favorecer la permanencia de bacterias provenientes de agua residual.

El material particulado proporciona una superficie de adherencia que explica porque las bacterias fecales, a pesar de encontrarse en agua de alta salinidad, sean capaces de sobrevivir. Grimes y Colwell (1986) demostraron el crecimiento de cepas de *E. coli* patógenas en salinidades hasta de 38 ‰. Las determinaciones de elevados NMP de bacterias fecales en puntos de alta salinidad en la laguna de Tamiahua parecen corroborar esta consideración.

El aumento de bacterias fecales en la estación de lluvias también podría relacionarse con el lavado de suelos, que arrastra hacia la laguna grandes cantidades de material particulado. La laguna es turbia y existe en Tamiahua una resuspensión de sedimentos, atribuible a las lluvias, los vientos y la circulación de lanchas. En la estación de lluvias las bacterias estudiadas presentaron un comportamiento similar entre agua superficial y de fondo, así como entre los tres grupos. El arrastre de sedimentos hacia el golfo de México podría también ser la causa de que en la boca de Corazones se encontraran altas concentraciones bacterianas en agua, pero no en sedimento.

En la estación de nortes, las concentraciones tuvieron poca similitud entre los grupos de bacterias; en secas, las concentraciones de coliformes totales de superficie y fondo se consideraron estadísticamente diferentes. La mezcla del agua en la estación de nortes, podría estar influenciada por los fuertes vientos, aunque la mezcla podría ser menor que en lluvias, ya que no se encontraron escasas correlaciones entre los grupos de bacterias y las bacterias coliformes totales presentaron una relación directa con la transparencia ( $r_1 = 0.61$ ,  $\alpha = 0.02$ ).

El análisis del comportamiento de las bacterias fecales en el ambiente se basa principalmente en las bacterias coliformes, en el caso de los estreptococos fecales existe menos información. De hecho este grupo no tuvo correlaciones importantes con los parámetros fisicoquímicos y no presentó variaciones estacionales de relevancia en el ciclo analizado. Este grupo permanece más estable en la laguna. Esto implica la posibilidad de que la contaminación pueda constituirse en un fenómeno acumulativo o relativamente permanente.

La determinación del origen de la contaminación a través de la relación CF/EF indicó que la contaminación humana fue importante en lluvias y nortes. La proporción de muestras de origen humano fue de 37.5% en lluvias y de 40% en nortes, que representó el doble de las de origen animal (18.7% en lluvias y 20% en nortes). 43.8% en lluvias y 40% en nortes no pudieron ser determinadas al obtenerse una relación CF/EF entre 0.7 y 4.0. En el 14.5% y 3.3% de las muestras no hubo aislamientos de bacterias. En secas, la proporción de muestras atribuibles a origen animal y humano fue semejante, en ambos casos de 21.9%. El 56.2% de las muestras fue indeterminado, en esta proporción se incluyó el 25% de las muestras en las que no se presentaron aislamientos. En sedimento, la estación de lluvias presentó contaminación de origen humano, ya que el 71.4% de las muestras tuvo una relación CF/EF > 4.0, mientras que solo el 7.1% se consideraron de origen animal. En nortes las proporciones fueron semejantes 35.7% de origen humano y 42.8 % de origen animal. En secas, por el contrario 12.5% de las muestras fueron de origen humano y 37.5 de origen animal.

El sedimento puede tener una relación directa con la sobrevivencia de las bacterias coliformes. Se ha demostrado que ofrece una superficie con pequeñas concentraciones de nutrientes, principalmente en agregados de materia orgánica, que proporcionan un substrato en que pueden permanecer vivos los microorganismos por más tiempo (Mann y Jazier, 1991), y esto permite a bacterias como *E. coli* adaptarse, por lo menos parcialmente a condiciones salinas (Munro *et al.*, 1987). Las altas concentraciones de bacterias en sedimento, implican un riesgo sanitario para las especies de tipo filtrador o detritívoras, ya que pueden incorporarlas.

Las concentraciones de bacterias en ostión *Crassostrea virginica*, jaiba *Callinectes sapidus* y lisa *Mugil cephalus*, indicaron que en las dos últimas hubo mayores concentraciones en lluvias, mientras que en ostión las concentraciones de lluvias y secas no tuvieron diferencias. El análisis del ostión se hizo por individuo, con el fin de comparar los resultados entre las tres especies. Las concentraciones límite para calidad del ostión se han desarrollado en macerados, ya que se analiza como alimento.

Las investigaciones sobre contaminación de ostión en zonas costeras mexicanas han enfatizado la influencia del manejo inadecuado en la calidad sanitaria del mismo (Romero y Rodríguez, 1982; Botello y Rodríguez, 1982; Rodríguez, 1986; Rosas, *et al.*, 1985). Otros han relacionado la mala calidad del ostión con la calidad del agua o las bacterias en el sedimento (Orozco y Segovia, 1986; Rivas y Méndez, 1990; González, 1989; Botello, 1990; Rodríguez y Romero, 1981; Pica, 1988; Rodríguez-Santiago y Botello, 1988).

Todas las determinaciones han sido realizadas con macerados de ostión; los valores máximos registrados han sido: 16,000 coliformes totales (CT) y 2,200 coliformes fecales (CF) en 100g (Orozco y Segovia, 1986), 64,920 CT/g (Rivas y Méndez, 1990), 2,400,000 CT y CF/100 ml (Rodríguez, 1986) y 4,800 CT y 4,000 CF/100 ml (Pica, 1988), en Baja California, Mazatlán, Tabasco y Campeche, respectivamente. Como puede apreciarse, no existe unificación en las unidades en que se expresan las concentraciones aún utilizando macerados. Estas diferencias se deben a que no existe un proyecto de Norma Oficial Mexicana aprobado para contenidos de bacterias fecales en el ostión. Según Vargas y Lizarraga-Partida (1994) la Secretaría de Salud, establece como límite máximo recomendable 230 bacterias coliformes fecales por cada 100g de pulpa de ostión. Así, los resultados se expresaron en NMP/100g.

Se registraron concentraciones altas de coliformes totales, de nivel D (100,000 a 1,000,000 NMP/100g), en 70% de los ejemplares en secas y 40% en lluvias. Este nivel se rebasó solamente en lluvias en 10% de los ejemplares. El grupo coliformes fecales, alcanzó el nivel D en 40% de los organismos en secas, y estreptococos fecales solo en el 10% en lluvias. La contaminación se consideró de origen humano en secas y no pudo determinarse en lluvias.

De acuerdo con Hood *et al.*, (1983), el macerado no facilita la relación de los números más probables con aspectos ambientales, ya que estos autores no encontraron relación entre las concentraciones de grupos de bacterias indicadoras y la presencia de bacterias como *Salmonella*, considerando que se debió probablemente, al hecho de mezclar varios organismos para la obtención de una muestra. Sin embargo, al análisis individual de ostión *Crassostrea virginica* de la laguna de Tamiahua, no reflejó los contenidos bacterianos ambientales. Se ha demostrado que, si el ostión ha acumulado bacterias, requiere de un periodo de inmersión en agua libre de bacterias hasta por 48 horas para su depuración, en condiciones adecuadas para un filtrado eficiente (Al-Jebouri y Trollope, 1984). De manera que podrían no reflejar las condiciones del momento de colecta. El ostión de la laguna tuvo mayores concentraciones de coliformes totales (por arriba de 1,000,000 NMP/100g) en los ejemplares de peso menor, promedio de 15.5 g, siendo el promedio general de 26.3 g. Es posible que otros aspectos ambientales y/o fisiológicos influyan en la acumulación de las bacterias en el ostión, lo que implica la necesidad de un estudio más detallado al respecto. Sin embargo, los resultados, obtenidos en esta investigación no apuntan a descartar el uso del macerado, ya que la acumulación por individuos no se relacionó con las concentraciones en agua.

Los ejemplares de jaiba *Callinectes sapidus*, presentaron mayores concentraciones de coliformes fecales en lluvias (nivel C, de 10,000 a 100,000 NMP/100ml) en el 19.2% de los organismos, y de estreptococos en el 30.8%. Según Rosas, *et al.* (1994), es en estación de lluvias, cuando se presenta el mayor consumo de detritos por esta especie en la laguna de Tamiahua. Mientras que en nortes y secas, no se ha encontrado sedimento en los contenidos estomacales de *C. sapidus*. Existen diferencias en la dieta de estos organismos, presentándose más detritos en ejemplares de talla de 4 a 8 cm, y menos en organismos de 9 a 13 cm en lluvias. La diferencia de alimentación por clase de tamaño es relevante porque los organismos mayores de 5 cm, pueden penetrar a ambientes menos protegidos, donde encuentran presas mayores, y por lo tanto tienen mayor posibilidad de tener lesiones. Welsh y Sizemore (1985) indicaron que la bacteremia en *Callinectes sapidus*, es proporcional al estrés comercial al que se somete a las jaibas, y también que es consecuencia de las lesiones que permiten la entrada de bacterias a la hemolinfa. La contaminación se consideró de origen humano en lluvias, con 46.1% de los ejemplares contra 23% atribuibles a origen animal. Del mismo modo en nortes 19.2% de las muestras se consideraron de origen humano y ninguna como de origen animal. En secas los porcentajes fueron iguales (8.3%) por lo que el origen no pudo determinarse.

Esta investigación solo analizó organismos provenientes del beneficio de la pesca, con caparazones de más de 9 cm de longitud. La longitud de los ejemplares dependió del volumen mínimo requerido para procesar una muestra, que era de 1.5 ml de hemolinfa. El pequeño volumen de hemolina que se obtuvo, hizo necesario diluir la muestra al 10, 1 y 0.1 %, por lo que los números más probables resultaron muy elevados. Hubiera sido adecuado para estos organismos trabajar al 100, 10 y 1%. Las mayores concentraciones (98,640 CF/100ml de hemolinfa), se presentaron en nortes y secas, en el 3.8% y el 4.2% de los ejemplares, respectivamente. Pero los organismos cuya hemolinfa no presentó bacterias fueron más frecuentes en estas estaciones (80.1% de los ejemplares). En las estación de lluvias las mayores concentraciones fueron de 87679 bacterias/100ml, es decir, menores a las de nortes y secas, pero el porcentaje de muestras contaminadas fue mucho mayor (hasta el 84.6%). Se considera que, tanto la estación del año, como el cambio en los hábitos de alimentación afectaron la concentración de bacterias en hemolinfa.

Rosas, *et al.* (1994), indicaron que las hembras ovígeras de *C. sapidus* de la laguna de Tamiahua se ubican frecuentemente en la zona sur de la isla del Idolo, sitio con altas concentraciones de coliformes en sedimentos en las estación de lluvias. Las hembras sueltan sus larvas al final de lluvias y también al inicio de la estación de secas. Es posible que las

hembras estén sometidas a un mayor contacto con el agua que los machos. Los resultados indicaron que en la estación de nortes las concentraciones de coliformes fecales en hembras alcanzaron 98,640 CF/ 100ml, solo las hembras presentaron bacterias. En secas y lluvias las diferencias no fueron estadísticamente significativas, sin embargo, la acumulación de bacterias por mayor exposición de las hembras al agua contaminada por bacterias podría estar enmascarada por el cambio en los hábitos de alimentación de la especie.

La lisa *Mugil cephalus* acumuló altas concentraciones de bacterias coliformes fecales en lluvias (nivel D) en el 12.7% de los ejemplares, respecto a 4.6% en secas. No se manifestó relación entre las concentraciones de bacterias y longitud, peso, estado de madurez gonádica, o factor de condición durante las lluvias. El grupo coliformes fecales fue adecuado para mostrar el cambio estacional, ya que las concentraciones altas de coliformes totales (nivel D) se consideraron iguales en lluvias y secas. En la estación de secas, el grupo coliformes totales presentó correlación con estado de madurez gonádica y factor de condición. Aparentemente las altas concentraciones encontradas en ejemplares en los estados III y IV de maduración, así como en ejemplares de mayor factor de condición, indicaron que la incorporación de bacterias se relaciona con el cambio de alimentación.

La lisa pasa parte de su ciclo vital en el golfo de México donde se reproduce; y parte en la laguna, donde ocurre el desove, desarrollo y crecimiento hasta formas adultas (Ibañez, 1993). Los hábitos alimenticios de *Mugil cephalus*, se ajustan a las condiciones en que se desarrolla su ciclo de vida; es omnívora, consume diatomeas, zooplancton y substancias orgánicas en descomposición; conforme crece aumenta el consumo de detritos (Drake *et al.*, 1984). Debido a sus hábitos puede ingerir sedimento con altos contenidos de bacterias.

La migración de la lisa desde el golfo de México hacia la laguna, así como la modificación de sus hábitos alimenticios coinciden con la estación de lluvias. De acuerdo a Ibañez (1995), el factor de condición de Clark, obtenido con el peso desviscerado del pez indica que en el mes de abril (secas), la condición de las poblaciones de lisa es baja, situación que se atribuye al desove, y se presenta en mayo un rápido crecimiento que se prolonga hasta junio con una ligera disminución en julio (lluvias) no significativa estadísticamente, y una ligera elevación posterior en agosto. Cuando hay crecimiento rápido, el pez se alimenta activamente. El período de colectas coincidió con el de cambio de alimentación, cuando esta especie es más activa y hay rápido crecimiento del animal.

La flora bacteriana intestinal de los peces no involucra coliformes (Panduranga y Gupta, 1978), en condiciones normales predominan *Aeromonas*, *Pseudomonas* y *Vibrio*, aunque llegan a presentarse estreptococos en muchos peces marinos, razón por la cual los estreptococos no se evaluaron en lisa. La presencia de bacterias entéricas de origen humano se considera indeseable para los peces en ambientes costeros (Austin y Allen-Austin, 1985b), su presencia manifiesta una condición ambiental. En este estudio se encontró que las concentraciones de coliformes fecales en heces de lisa variaron en el tiempo y coinciden con la estación en que se presentaron mayores concentraciones bacterianas en la laguna (lluvias), aunque estos muestreos no se realizaron simultáneamente. Una modificación en la composición de la flora intestinal podría repercutir a largo plazo, aunque las bacterias involucradas no fueran patógenas para los peces.

En *M. cephalus*, así como en *C. sapidus*, puede pensarse que existe una cierta facilidad para la entrada de bacterias en hembras respecto a machos, que no se hace evidente porque coincide con el cambio de alimentación de ambas especies. Montes *et al.* (1991), sugirieron que podría existir un estrés migratorio que afectara principalmente a las hembras ovigeras de lisa y pudiera facilitar la entrada de bacterias.

El hecho de que estas dos especies tuvieran mayor concentración de bacterias en lluvias, época en la cual se realiza un cambio de hábitos de alimentación, implica que no pueda

asegurarse plenamente que los contenidos de bacterias estén manifestando solamente una condición ambiental. Pero ciertamente, tampoco puede descartarse que la presencia de estas bacterias en la hemolinfa de jaiba y heces fecales de lisa solo puede explicarse como de origen exógeno.

La presencia de estas bacterias en el tracto digestivo de la lisa involucra además, el riesgo de que el eviscerado de los peces pueda afectar la calidad del músculo, que es lo que se consume. En el caso de la jaiba, su extracción en agua contaminada con bacterias, aumenta el riesgo de encontrarlas en hemolinfa. Se detectaron variaciones estacionales en las concentraciones de bacterias. Otros autores también las han detectado, Welsh y Sizemore (1985) han registrado hasta  $10^4$  unidades formadoras de colonias/ml de *Vibrio* spp. en hemolinfa de *C. sapidus*, particularmente en julio y agosto en Carolina del Norte. Ellos consideraron que el hecho de no haber encontrado ejemplares con concentraciones más altas, indica la posibilidad de que números mayores puedan ser letales. En esta investigación se registraron concentraciones de  $10^4$  bacterias/100ml. Si bien las concentraciones no son equivalentes, ya que no se cultivó en placa sino en tubo, y los grupos bacterianos son diferentes; los ejemplares no presentaron concentraciones más elevadas. El planteamiento de la posibilidad de que las concentraciones elevadas sean letales requeriría de una investigación específica.

El grupo estreptococos fecales ha tenido importancia en peces, ya que provoca la enfermedad de estallamiento de ojos o estreptococciosis (Austin y Allen-Austin 1985a), que es una septicemia, provocada por alguna o varias especies: *Streptococcus equisimilis*, *S. equisimilis equisimilis*, *S. faecium*, *S. pyogenes*, *S. zooepidermicus*, *S. galactiae* y *S. faecalis*. No se relaciona con contenidos en intestino, donde no se ha registrado. En vista de los resultados obtenidos en ostión y jaiba, la búsqueda de este grupo en heces de lisa sería recomendable. Los estreptococos no manifestaron variación estacional en ostión, donde se encontraron en bajas concentraciones, pero sí en jaiba, y no tuvieron relación alguna con aspectos morfométricos. Al igual que en la laguna, se consideró que las concentraciones de estreptococos fecales fueron bajas, pero relativamente constantes en los organismos.

La evaluación de la contaminación fecal en la laguna de Tamiahua, interpretada a través de los indicadores y límites exigidos por la legislación vigente, indicó que es necesario un control de emisiones de las industrias que vierten en los esteros, y que descargan directamente en la laguna; además de un monitoreo frecuente y regular; sistemas de drenaje con tratamiento previo a la descarga; así como del control de los aportes provenientes de caseríos aislados, muchos de los cuales carecen de sistemas de drenaje, particularmente los ubicados en sitios donde las corrientes son mínimas.

Las poblaciones humanas asociadas a la laguna forman parte de un sistema en el que las bacterias fecales se aportan continuamente y no se eliminan rápidamente. El monitoreo de las variaciones de esta forma de contaminación, debe involucrar agua, sedimento y organismos. La legislación vigente no permite caracterizar totalmente este ambiente porque la evaluación en heces, hemolinfa o sedimento no puede interpretarse desde el punto de vista sanitario, ya que no son alimentos o no se consumen; pero debido a la información que aportan son útiles. Finalmente debe tenerse en cuenta, no solo si la muestra rebasa los límites, sino también la concentración con que estos se rebasan y los cambios que paralelamente se presenten en sedimento y organismos de importancia pesquera.



## VII CONCLUSIONES

- La laguna de Tamiahua no presentó una adecuada calidad microbiológica para cultivo de moluscos pero si para recreación con contacto primario y protección de la vida acuática, de acuerdo a las normas mexicanas.
- Las bacterias coliformes se distribuyen de manera homogénea en la columna de agua en lluvias, como resultado de la mezcla de agua. Durante la estación de secas, por el contrario, el agua del fondo estuvo más contaminada. Los grupos coliformes presentaron estacionalidad en agua y sedimento, con las más altas concentraciones en la estación de lluvias en las que la contaminación se consideró principalmente de origen humano. La estación de nortes también se consideró contaminada por aportes humanos.
- La contaminación por coliformes totales se distribuyó en toda la laguna en lluvias. En las estaciones de nortes y secas las localidades con mayores concentraciones se presentaron en dos grupos, uno al norte de la región de colecta (frente al estero Tancochín y norte y noreste de la isla del Idolo) y otro al sur (sur de la isla, frente a la ciudad de Tamiahua y en la Boca de Corazones), con máximos de  $10^3$  bacterias/100ml. Las concentraciones en sedimento fueron altas en lluvias, particularmente en la región central (este, sur y oeste de la isla del Idolo), llegando a rebasar  $10^4$  bacterias/100ml. El sedimento de la Boca de Corazones tuvo concentraciones bajas, entre 14 y 70 bacterias/100ml, lo que indica la influencia de la corriente que sale de la laguna con dirección al golfo de México, que puede arrastrar los sedimentos a mayores distancias.
- Los grupos coliformes, totales y fecales en agua, presentaron una distribución similar, en relación a las localidades más contaminadas, pero coliformes fecales con menores concentraciones. Las diferencias apreciables en las estaciones de nortes y secas fueron que las localidades más contaminadas por coliformes fecales, tanto en agua como en sedimento, se ubicaron en la parte central de la región de colecta, alrededor de la isla del Idolo.
- Las bacterias coliformes tuvieron una relación inversa con la salinidad en lluvias ( $r_1 = -0.48$ ,  $\alpha = 0.02$ ), aunque algunas localidades de alta salinidad (35.1‰) presentaron altas concentraciones de bacterias (8864 CF/100ml), como la boca. La cercanía de los aportes se consideró determinante en las concentraciones altas.
- El grupo estreptococos fecales no presentó estacionalidad evidente. las localidades más contaminadas (71-200 bacterias/100ml) se situaron al norte de la región de colecta, al oeste y sur de la isla del Idolo y en la Boca de Corazones. La contaminación por estreptococos se consideró menor a la de coliformes y más constante.
- Las concentraciones y el porcentaje de organismos con bacterias coliformes fecales fue mayor en la estación de lluvias para las especies *Callinectes sapidus* y *Mugil cephalus*, demostrándose origen humano en *C. sapidus* para lluvias y nortes. En el ostión *Crassostrea virginica*, que tuvo una mayor proporción de organismos contaminados en secas, también se encontró contaminación de origen humano en esa estación.
- En el ostión *Crassostrea virginica* se encontraron mayores concentraciones de coliformes totales en organismos de menor peso en la estación de lluvias. Las concentraciones de bacterias coliformes en hemolinfa de jaiba *Callinectes sapidus* no se relacionaron con la longitud de los ejemplares, sin embargo, las hembras fueron mas grandes y estuvieron más

contaminadas en nortes. En ambas especies se determinó como de origen humano la contaminación en la estación en que se presentaron mayores concentraciones de bacterias. La lisa *Mugil cephalus*, presentó en secas, aumento en peso, longitud, madurez gonádica y factor de condición, que se asociaron a un aumento en las concentraciones de coliformes totales, por lo tanto no se comprobaron efectos negativos. Las coliformes fecales no manifestaron este aumento acorde al estado de madurez. En lluvias, el peso no se incrementó significativamente y las concentraciones de ambos grupos coliformes tampoco se relacionaron con el incremento en la madurez en *Mugil cephalus*.

- La presencia de coliformes y estreptococos fecales en hemolinfa de jaiba *Callinectes sapidus* y heces fecales de lisa *Mugil cephalus*, se consideran de origen exógeno, ambas especies aumentan el consumo de detritos al acercarse la estación de lluvias, que es en la que se detectaron mayores concentraciones, al igual que en la laguna.

- El análisis de estreptococos indicó bajas concentraciones en ostión. Existió estacionalidad en jaiba, con mayores concentraciones en lluvias. Los estreptococos no tuvieron relación con aspectos morfométricos, en este sentido se comprueba la importancia del grupo coliformes, que, al tener relación con aspectos morfométricos, implica que el contacto con contaminación fecal de origen humano repercute en diferentes especies en el sistema y no solamente en los aspectos sanitarios relativos al uso del agua.

Es importante considerar que la presencia de bacterias dentro del organismo puede tener un efecto directo, así como indirecto, señalando la exposición a grandes concentraciones de bacterias y materia orgánica.

## VIII BIBLIOGRAFIA

- AL-JEBOURI, M.M. y D.R. TROLLOPE. 1984. Indicator Bacteria in Freshwater and Marine Molluscs. *Hydrobiologia* 111: 93-102.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16<sup>a</sup> Ed. APHA, U.S., 1220 P.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17<sup>a</sup> Ed. APHA, U.S., 1220 P.
- AUSTIN B. y D. ALLEN-AUSTIN. 1985a. Bacterial pathogens of fish. *J. Appl. Bacteriol.* **58**: 483-506.
- AUSTIN B. y D. ALLEN-AUSTIN. 1985b. Microbial Quality of Water in Intensive Fish Rearing. *J. Appl. Bacteriol. Symposium Supplement*: 207S-226S.
- BARRERA, E.G., J.M. DIAZ, F.M. MARTINEZ, R.P. RAMIREZ, Ch.E. DUCOING y V.C. ROSAS. 1989 . Evaluación de la calidad sanitaria en agua y sedimentos de la laguna de Tamiahua, Veracruz, México. III Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. Cumaná, Venezuela. Octubre. p. 45.
- BARRERA, E.G., Ch.E. DUCOING y R.P. RAMIREZ. 1990a. Calidad sanitaria de agua, sedimento y algunas especies de interés comercial en la Laguna de Tamiahua, Ver. II Congreso de Ciencias del Mar, Cuba. Junio. p. 178.
- BARRERA, E.G., M.P. MARTINEZ, P.G. MACIEL, T.M. VICENCIO, Ch.E. DUCOING y R.P. RAMIREZ. 1990b. Calidad sanitaria de los esteros La Laja y Cucharas de la Laguna de Tamiahua, Ver. X Coloquio de Investigación ENEPI-UNAM, México. Noviembre. Res.
- BELLAN, G. 1980. Acción de los factores de polución sobre las comunidades bentónicas. *In*: Pérez, J.M. (Ed.) La polución de las aguas marinas. Ed. Omega, S.A., España: 152-171.
- BOARDMAN, G.D., R.D. SHANNON y T.R. MCBRAYER. 1988. Detection and Occurrence of Water Borne Bacterial and Viral Pathogens. *J. WPCF* **60** (6): 1121-1128.
- BOTELLO, A.V., 1978. Presencia de hidrocarburos fósiles en ecosistemas estuarinos del Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.* **26** (Supl. 1): 135-151.
- BOTELLO, A.V. 1990. Impacto Ambiental de los hidrocarburos organoclorados y de microorganismos patógenos específicos en las lagunas costeras del Golfo de México. Informe Final OEA-CONACYT, UNAM, México: 69 p.
- BOTELLO, A.V. (Responsable). 1994. Informe final del Programa de Investigación Multidisciplinario "Evaluación ambiental de las Lagunas Costeras de Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco, Veracruz, para el aprovechamiento y conservación de su biodiversidad". Informe Interno División de CBS, UAMI, México.: p.
- BOTELLO, A.V., E.I. MANDELLI, H. BRAVO y S. SALAZAR. 1978. Polyaromatic Hydrocarbons in Oyster from Coastal Lagoons of Long Eastern Coast of Gulf of México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **9** (2): 171-178.
- BOTELLO, A.V. y H.S. RODRIGUEZ, 1982. Niveles actuales de compuestos organoclorados, desechos industriales y coliformes en los sistemas lagunares costeros del estado de Tabasco. Informe Final presentado a la Secretaría de Pesca del Estado de Tabasco. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México: 20-25.
- BOTELLO, A.V., V.G. PONCE, A. TOLEDO, G.G. DÍAZ y S. VILLANUEVA. 1992. Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. *Ciencia y Desarrollo* **17** (102): 28-48.

BOTELLO, A.V., S. VILLANUEVA, V.G. PONCE, Q.L. RUEDA, CH.I. WONG, G. BARRERA. 1995. La contaminación en las zonas costeras de México. *En: Restrepo, I (Coordinador). Agua, Salud y Derechos Humanos. Com. Nal. Der. Hum., México: 53-122.*

CABELLI, V.J., 1979. Evaluation of Recreational Water Quality, the EPA Approach. *In: James, A. y L. Evison (Eds.) Biological Indicators of Water Quality. J. Wiley and Sons, G.B.: 14-1 - 14-23.*

CAMPBELL, R. 1987 *Ecología microbiana. LIMUSA, México: 268 p.*

COLWELL, R.R., P.R. BRAYTON, O.J. GRIMES, D.R. ROSZAK, S.A. HUQ y L.M. PALMER. 1985. Viable but Non-cultivate *Vibrio cholerae* and Related Pathogens in the Environment: Implications for Release of Genetically Engineered Microorganisms *Biotechnol. 3: 817-820.*

COMISION NACIONAL DE ECOLOGIA (CONADE). 1992. Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1989-1990. CONADE, México: 260 p.

CONTRERAS, F.M. 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. *Sría de Pesca, México: 253 p.*

CONTRERAS, F., M. HERZ y A.V. BOTELLO 1988. Atlas del Golfo y el Caribe de México. Diagnóstico Ambiental. CECODES, México: 98 p.

DART, R.K. Y R.J. STRETTON. 1977. Microbial Aspects of Pollution Control. Elsevier Scientific. Pub. Corp. New York: 53 -111.

DAVIES, CH.M, M J.A.H. LONG, M. DONALD y N.J.A. ASHBOLT. 1995. Survival of Fecal Microorganisms in Marine and Freshwater Sediments. *Appl. Environ. Microbiol. 61 (5): 1888-1896.*

DE LA LANZA, E. G. y M.C. CACERES. 1994. Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. UABC-UNAM, México: 525 p.

DELGADILLO, H.F. y B.M.V. OROZCO. 1987. Bacterias Patógenas en Sedimentos de la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas 13 (3): 31-38.*

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION. 29 de Marzo de 1973. Reglamento para la prevención de la Contaminación del Agua: 31 p.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION 22 de Junio de 1987. Norma Oficial Mexicana para la Detección y Enumeración de Organismos Coliformes, Organismos Coliformes Termotolerantes y *Escherichia coli*. NOM-AA-42-1987: 17 p.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION. 13 de Diciembre de 1989. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CEE-CCA-001/89: 26 - 36.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION. 18 de Octubre de 1993. Límites máximos permisibles de contaminación en descargas de aguas residuales provenientes de industrias a cuerpos receptores. Segunda sección. NOM-CCA-001-ECOL/1993 a NOM-CCA-033-ECOL/1993: 128 p.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION. 6 de Enero de 1995. Límites máximos permisibles de contaminación en descargas de aguas residuales al alcantarillado. NOM-CCA-066-ECOL/1995 a NOM-CCA-068-ECOL/1995.

DOMINGUEZ, P.S. 1979. Estudio de la calidad reglamentaria y ecológica de las aguas. Tesis M. en C. Facultad de Ciencias, UNAM, México: 118 p.

DRAKE P., A.M. ARIAS y L. GALLEGOS. 1984. Biología de los mugílidos (*Osteichthyes Mugilidae*) en los esteros de las salinas de San Fernando (Cádiz). Hábitos alimenticios y su relación con su morfología del aparato digestivo. *Investigación Pesquera. 48 (2): 337-367.*

DUTKA, B.J. 1979. Microbiological Indicators, Problems and Potential of New Microbial Indicators of Water Quality. In: James A. y L. Evison (Eds.) Biological Indicators of Water Quality. John Wiley and Sons Inc., G. B.: S 1-S 28.

EMERSON, J.D. Y D.C. HOAGLIN. 1983. Analysis of Two-Way Tables by Medians. In: Hoaglin, D.C., F. Mosteller y J.W. Tukey (Eds.) Understanding Robust and Exploratory Data Analysis. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics. John Wiley and Sons, Inc., N.Y.: 477 p.

EIVISON, L. 1979. Microbial Parameter of Raw Water Quality. In: James, A. y L Evison (Eds.) Biological Indicators of Water Quality. J. Wiley and Sons, G.B.: 16-1 - 16-19.

FARIAS, S.A. y S.F. CAMARGO. 1981. Estudio preliminar sobre la contaminación por bacterias coliformes en las aguas costeras del Puerto de Veracruz, Ver. In: VIII Simposio Latinoamericano sobre Oceanografía Biológica, Guerrero, México, Noviembre: 661-674.

FERNANDEZ DE CASTRO, J. 1991.El Cólera, un problema no resuelto. *Ciencias*. **24**: 33 -42.

FUJIOKA R.S., H.H. HASHIMOTO, E.B. SIWAK y R.H. YOUNG. 1981. Effect of Sunlight on Survival of Indicator Bacteria in Sea Water *Appl. Environ. Microbiol.* **41** (3): 680-686.

GERBA, CH.P. y J.S. MACLEOD. 1976. Effect of Sediments on the Survival of *Escherichia coli* in Marine Waters. *Appl. Environ. Microbiol.* **32** (1): 114-120.

GIRON, J. y C.S. GIONO. 1989. La adherencia bacteriana y su poder en la infección. In: Cabrera R. y P. Gómez (Compiladores). Aspectos moleculares de la patogenicidad bacteriana. UAMX, México: 13-41.

GONZALEZ, A.S., C.A. RUIZ y S.J. MEDINA. 1988. Análisis bacteriológico del ostión *Crassostrea virginica* muestreado en el estero de Tecolutla, Ver. XIX Congreso Nacional de Microbiología. Asociación de Microbiología. UANL, México. Abril: p. 80.

GONZALEZ A.S. 1989. Análisis bacteriológico del ostión y sus bancos de extracción en el Estero Tecolutla, Veracruz, para su evaluación sanitaria. VIII Simposio de Biologías de Campo. ENEPI, UNAM, México. Noviembre. p. 35.

GONZALEZ A.S. y C.A. RUIZ. 1989. Análisis bacteriológico del ostión y sus bancos de extracción en el Estero Tecolutla, Ver. IX Coloquio de Investigación, ENEPI, UNAM, México, Diciembre. C-92

GRIMES, D.J. y R.R. COLWELL. 1986. Viability and Virulence of *Escherichia coli* Suspended by Membrane Chamber in Semitropical Ocean Water. Federation of European Microbiological Societies. *Microbiology Letters* **34**:161-165.

HERNANDEZ M.J., M.M. RUIZ y G.J. ATZIN. 1988 Evaluación de *Salmonella* y *Shigella* en la cuenca baja del Río Coatzacoalcos. XIX Congreso Nacional de Microbiología. Asociación de Microbiología. UANL, México. Abril: p. 80.

HOOD, M.A., G.E. NESS, y N.J. BLAKE. 1983. Relationship Among Fecal Coliforms, *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. in Shellfish. *Appl. Environ. Microbiol.* **5** (1): 122-126.

IBAÑEZ, A.L. y V.R. CAMPOS. 1991. Análisis de las pesquerías en Veracruz. *Hidrobiologica*. **1** (1): 36 - 48.

IBAÑEZ, A.L.1993. Coexistencia de *Mugil cephalus* y *Mugil curema* in a coastal lagoon in the Gulf of México. *J. Fish. Biol.* **42**: 959 - 961.

IBAÑEZ, A.L.1995. Algunos aspectos de la dinámica de poblaciones de *Mugil cephalus* (Linneo,1750) y *M. curema* (Valenciennes, 1836) (Pisces: Mugilidae) en la laguna de Tamiahua, Veracruz. Tesis de Doctorado. Fac. Ciencias, UNAM, México: 216 p..

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDIOS EN GEOGRAFIA E INFORMATICA (INEGI). 1981. Carta Topográfica El Mamey F 14D25. 1: 50 000.

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDIOS EN GEOGRAFIA E INFORMATICA (INEGI). 1983. Carta Topográfica Tamiahua F 14D25. 1: 50 000.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDIOS EN GEOGRAFIA E INFORMATICA (INEGI). 1987. Carta Topográfica Tamiahua F 14-9. 1: 250 000.
- LOOSANOFF, V.L. y B.J. ENGLE. 1947. Effect of Different Concentrations of Microorganisms on the Feeding of Oyster *Crassostrea virginica*. *Fish. Bull.* 42(51): 31-54.
- MANN, K.H. y J.R.N. JAZIER. 1991. Dinamica of marine Ecosystems. Backwell Scientific Pub. Boston, E.U.: 465 p.
- MARIN M.L. 1991. Evaluación de la calidad bacteriológica del agua de abasto de los rastos del D.F. Tesis Fac. de Ciencias. UNAM, México: 29 p.
- MARTINEZ-MANZANARES, E., M.A. MORIÑO, D. CASTRO, M.C. BALEBONA y J.J. BORREGO. 1993. Comparison and Evaluation of Different Microbiological Quality Criteria for Shellfish and Shellfish-Growing Waters. *Wat. Sci. Technol.* 27(3-4): 31-34.
- MCJUNKIN, F.E. 1988. Agua y Salud Humana. LIMUSA, México. OPS, OMS: 231 p.
- MERCK .1982a. Análisis microbiológico del agua. Medios de cultivo. Darmstad, RFA: 35 p.
- MERCK .1982b. Manual de medios del cultivo Merck. Darmstad, RFA: 189 p.
- MILTON, J.S. y J.O. TSOKOS, 1987. Estadística para biología y ciencias de la salud. Interamericana-Mcgraw-Hill, Madrid: 527 p.
- MONTES, L.J., V.R. CAMPOS y E.G. BARRERA. 1991. Incidencia de bacterias coliformes en *Mugil cephalus* de la laguna de Tamiahua en época de sequía y lluvia (1989). XI Congreso Nacional de Zoología, Yucatán, México. Octubre. p. 145.
- MORALES CH. R. y B.V. OROZCO. 1990. Bacteriología en la porción marina frente a Tijuana y Rosarito, B.C. VIII Congreso Nacional de Oceanografía Química, UAS, México. p. 46.
- MUNRO, P.M., M.J. GAUTHIER y F.M. LAUMOND. 1987. Changes in *Escherichia coli* Cells Starved in Seawater or Grown in Seawater-Wastewater Mixtures. *Appl. Environ. Microbiol.* 53: 1476-1481.
- NIKOLSKY, G. 1963. The Ecology of Fishes. Academic Press, London: 352 p.
- OROZCO, B.V. y E.A. GUTIERREZ-GALINDO. 1983. Contaminación Fecal Costera en la Zona del Puerto de Ensenada, Baja California. *Ciencias Marinas* 9 (1): 27-34.
- OROZCO, B.V. y Z.J.A. SEGOVIA. 1986. Calidad bacteriológica del mejillón *Mytilus californianus* en la zona costera noroccidental de Baja California, México. *Ciencias Marinas* 12 (1): 7-17.
- PANDURANGA R.C. y S.S. GUPTA. 1978. Enteropathogenic *E. coli* and Other Coliforms in Marine Fish. *Fish. Technol.* 15: 45-47.
- PELCZAR, M.J., D.R. ROGER y E.C.S. CHAN. 1982. Microbiología. McGraw Hill Book Co. U.S.: 826 p.
- PETTIBONE, G.W., S.A. SULLIVAN y M.P. SHIARIS. 1987. Comparative Survival of Antibiotic-Resistant and Sensitive Fecal Indicator Bacteria in Estuarine Water. *Appl. Environ. Microbiol.* 53: (6): 1241-1245.
- PICA G.V. 1988. Determinación de niveles de contaminación fecal en la laguna de Términos, Campeche, mediante la cuantificación de bacterias coliformes fecales y coprostanol (Dos métodos comparativos). Tesis profesional. Fac. de Ciencias, UNAM, México: 57 p.

- PONCE, V.G., BOTELLO, V.A. y G.G. DIAZ. 1994. Hidrocarburos aromáticos recientes del noreste del Golfo de México. III Congreso de Ciencias del Mar. Cuba. p. 522.
- RAMIREZ R.P., E.G. BARRERA y V.C. ROSAS. 1989. Effects of Chromium and Cadmium upon respiration and survival of *Callinectes similis*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **43** (6): 850-857.
- RHEINHEIMER, G. 1987. Microbiología de las aguas Ed. Acribia, S.A, México: 299 p.
- RICKER, W.E. 1975. Computation and Interpretation of Biological Statistic of Fish Populations. Department of Environment Fisheries and Marine Service. Ottawa, Canada. Bull. **191**: 382 p.
- RIVAS, M.A. y G.E. MENDEZ. 1990. bacteriología sanitaria del ostión de piedra *Crassostrea iridians* procedente de la Bahía de Puerto Viejo, Mezatlán. VIII Congreso Nacional de Oceanografía, UAS, México. p. 59.
- RODRIGUEZ, S.H. 1986. Bacterias coliformes en el procesamiento de ostión (*Crassostrea virginica*) en Tabasco, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* **13** (1): 445-448.
- RODRIGUEZ, S.H. y J.J. ROMERO. 1981. Niveles de contaminación bacteriana en dos sistemas-fluviolagunares asociados a la laguna de Términos, Campeche. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, **8**(1): 63-68.
- RODRIGUEZ-SANTIAGO, H. y A.V. BOTELLO. 1987. Contaminación enterobacteriana en la red de agua potable y en algunos sistemas acuáticos del sureste de México. *Contam. Amb.* **3** (1): 37-53.
- RODRIGUEZ-SANTIAGO, H. y A.V. BOTELLO. 1988. Resistencia múltiple a antibióticos en *Escherichia coli* aislada en la Laguna de Términos, Campeche. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* **8** (1): 63 - 68.
- ROMERO, J.J. y S.H. RODRIGUEZ. 1982. Niveles actuales de contaminación coliforme en el sistema lagunar del Carmen-Machona, Tabasco. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.* **9** (1): 121-126.
- ROMERO - JARERO, J., M.J. FERRARA - GUERRERO, L. LIZARRAGA - PARTIDA y H. RODRIGUEZ - SANTIAGO. 1986. Variación estacional de las poblaciones enterobacterianas en la laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* **13** (3): 73-86.
- ROSAS, C.V., T. CASTAÑEDA y G. BARRERA, 1989. Niveles de plomo, cromo y cadmio en *Callinectes sapidus* y *C. similis* y su relación con la concentración de estos en el agua y en el sedimento. *Rev. Inv. Marinas de la Univ. de la Habana.* **10** (1): 71-88.
- ROSAS, C., E. LAZARO-CHAVEZ y R.F.BÜCKLE. 1994. Feeding Habits and Food Niche Segregation of *Callinectes sapidus*, *C. rathbunae* and *C. similis* in a Subtropical Coastal Lagoon of the Gulf of México. *J. of Crustacean Biol.* **14** (2): 371-382.
- ROSAS, I., A. YELA y A. BAEZ. 1985. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en ostión (*Crassostrea virginica*) durante su desarrollo y procesamiento en el mercado. *Contam. Amb.* **1**: 51-64.
- RUIZ-CABRERA, A. y J. MEDINA-SOTO. 1986. Análisis bacteriológico preliminar de bancos de ostión en la laguna de Tamiahua, Veracruz. II Reunión Alejandro Villalobos. Biología de la laguna de Tamiahua. UNAM, México.
- RUIZ C.A., L.R. CHAVEZ y M.J. MONTOYA. 1990. Detección prospectiva de contaminación fecal en la Laguna de Alvarado, Ver. X Coloquio de Investigación ENEPI, UNAM, México. p. 90.
- SANFORD, T. 1974. Clinical Diagnosis. W. B. Sanders Co., U.S.: 1443 p.
- SAÑUDO, W.S.A., Y.A. MORALES, F.J.A. VARGAS. 1984. Contaminación Fecal en la Bahía de Ensenada, Baja California, México. *Ciencias Marinas* **10** (1): 7-17.
- SECRETARIA DE PESCA. 1992. Informe interno de la oficina de Pesca Delegación Tamiahua.

SOKAL, R.R., 1969. Biometría. W.H. Freeman and Co., España: 832 p.

STEEL, G.D. y J.H. TORRIE. 1988. Bioestadística. Principios y procedimientos. McGraw Hill, México: 621 p.

THATCHER, F.S. y D.S. CLARCK. 1973. Análisis microbiológico de los alimentos. Ed. Acribia, España: 271 p.

TOLEDO, A., A. BOTELLO, M. CHAZARO, L. BOZADA, M. PAEZ, A. BAEZ, F. CONTRERAS y H. RODRIGUEZ. 1988. Energía, Ambiente y Desarrollo. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. CECODES, México 25: 227-239.

TUBIASH, H.S., R.K. SIZEMORE y R.R. COLWELL. 1975. Bacterial Flora of the Hemolymph of the Blue Crab *Callinectes sapidus*. *Appl. Microbiol.* 29 (3): 386-392.

TUKEY, J.W., 1977. Exploratory Data Analysis. Addison Wesley Publishing Co., U.S.: 688 p.

VARGAS, C.M.G. y M.L. LIZARRAGA-PARTIDA. 1994. Manual de prácticas de laboratorio del curso de bacteriología marina. Comunicaciones Académicas. Serie Ecología. CICESE, BC, México: 36 p.

WELSH, P.C. y R.K. SIZEMORE. 1985. Incidence of Bacteremia in Stressed and Unstressed Populations of the Blue Crab *Callinectes sapidus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 50 (2): 420-425.