



**Contaminación
Microbiológica**

Contaminación por Microorganismos en Zonas Costeras

27

Guadalupe Barrera Escorcía¹ e Irma Wong Chang²

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

²Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

RESUMEN

Los cuerpos de aguas naturales reciben los desechos humanos domésticos e industriales. Las aguas residuales contienen microorganismos que involucran un riesgo potencial para la salud humana. Las fuentes a través de las cuales pueden ser introducidos estos microorganismos son diversas e incluyen desde las excretas individuales, descargas domésticas, drenajes urbanos, y efluentes industriales hasta el agua de balastos de barcos y otros. Para analizar esta forma de contaminación, se hace uso de indicadores biológicos. Estos están presentes en las descargas y asociados a organismos patógenos que se transmiten por el agua, los cuales son evaluados con técnicas específicas.

ABSTRACT

Natural water bodies receive human domestic and industrial refuses. Wastewater contains microorganisms that involve a potential risk for the human health. These microorganisms can be introduced from several sources, which include individual feces, sewage, urban drainage, industrial effluents, even ballast water and others. Biological indicators are used for analyzing microbiological pollution. They are present into wastes and associated to pathogen organisms that can be transmitted by water, which are evaluated by specific techniques.

INTRODUCCIÓN

La contaminación microbiológica se ha convertido en un tema de gran interés, ya que la presencia de microorganismos en el agua tiene una relación directa con la salud pública. El agua residual contiene microorganismos patógenos como hongos, levaduras, bacterias y virus originados en desechos humanos, también se presentan cantidades variables de huevos de metazoarios parásitos, hongos patógenos y otros organismos (Gauthier, 1980), así como materia orgánica no tóxica y tóxica. El agua actúa como un vector para la transmisión de microorganismos patógenos, los efectos de la contaminación microbiológica se hacen patente en la salud humana y en la calidad de los ecosistemas, debido a esto existe la necesidad de incrementar la investigación sobre fuentes y niveles de esta forma de contaminación.

La población humana ha considerado a los cuerpos acuáticos como un receptáculo natural de sus desechos domésticos e industriales. Los efluentes tendrán características físicas, químicas y biológicas dependiendo del grado de la extensión del tratamiento del agua, diferentes al cuerpo receptor, lo cual implica modificaciones ecológicas que frecuentemente se extienden a grandes distancias, dependiendo de las corrientes y la distribución de las aguas superficiales (Aubert *et al.*, 1969; Schmitz, 1995).

Los aportes de microorganismos diferentes a los de la comunidad normal, como es el caso de la adición de bacterias fecales, pueden tener una influencia importante en los ecosistemas acuáticos. (Galindo, 1988).

FUENTES

La contaminación del agua está comúnmente asociada con las descargas de fuentes puntuales, que son los efluentes de plantas de tratamiento de agua residual, drenajes y fábricas. Los efectos de la contaminación son frecuentemente fáciles de observar en las fuentes puntuales. Sin embargo, algunas de las formas más serias, pero frecuentemente menos obvias, son las provenientes de fuentes "difusas" que son aquellas en la que el contaminante no entra al agua desde un punto simple, como son las áreas de agricultura y pastoreo, densas áreas urbanas, los escurrimientos de aguas superficiales, la infiltración hacia el subsuelo y últimamente las aguas de balastro de los barcos que son descargadas ilegalmente en los cuerpos de agua contaminándolos (Abel, 1996; Schmitz, 1995).

La fuente principal de los microorganismos patógenos es el agua residual (Tabla 1), que recibe aportes de excrementos humanos, tanto en orina como material fecal. El vertimiento de estos desechos en aguas costeras se ha realizado por muchas centurias. Las consecuencias en el ambiente de esta práctica están bien documentadas, particularmente cerca de las grandes ciudades, donde las persistentes descargas de agua residual en ambientes marinos

han incrementado la frecuencia de enfermedades en la población humana, de animales y disminuido el número de peces y fauna béntica (Baross *et al.*, 1975).

Tabla 1. Aportes típicos de microorganismos.
(Fuente: McCoy, 1971; Dart y Stretton, 1997).

En agua residual	Máximos
Coliformes	100 X 10 ⁶ /100 ml
<i>Escherichia coli</i>	300,000 X 10 ⁶ /100 ml
Estreptococos fecales	10-20 X 10 ⁶ /100 ml
De ciudades y zonas rurales con o sin tratamiento	Aportan entre 70 y 75% a ecosistemas costeros.
Aportes individuales	100 g heces/día 1 ton/10,000 hab/día.
Crónicos asintomáticos	Durante meses o años.
Portadores crónicos de tifoidea	2 a 4% de recuperados sobrevive en bajas temperaturas y riqueza de nutrientes.
Portadores sanos o convalecientes de cólera (<i>Vibrio cholerae</i> 01 biotipo El Tor, serotipo Inaba)	2-10% de la población mundial 4-15 meses. Sobrevive horas-13 días proporcional a las superficies de fijación.

Los estuarios y las lagunas costeras son los ecosistemas más impactados por la presencia de microorganismos patógenos, provenientes de las descargas municipales, ríos, escurrimientos, emisores submarinos y viento. Se estima que entre el 70 y el 75% de las descargas de drenajes de las poblaciones y ciudades en todo el mundo, son vertidas, con o sin tratamiento previo a los ecosistemas costeros (Fig. 1). Particularmente son importantes los desechos médicos y de hospitales que se descargan inadecuadamente. El peligro potencial para la salud es evidente, por lo que es necesario incrementar los estudios epidemiológicos que relacionen los padecimientos infecciosos que puedan causar los microorganismos en la contaminación por agua residual (Galindo, 1988).

Las personas infectadas por alguna enfermedad gastrointestinal desechan concentraciones muy altas de patógenos durante el proceso infeccioso y la convalecencia (Lynch y Hobbie, 1988). Se excreta un promedio de 50 millones de bacterias coliformes y estreptococos por gramo de heces (Schmitz, 1995) y se calcula una excreción individual de 100 g de heces por persona al día, lo que implica una tonelada por cada 10,000 habitantes en ciudades no muy grandes (McCoy, 1971). Existen aportes crónicos de microorganismos, aún cuando las personas no muestren signos de una enfermedad infecciosa, pueden acarrear un organismo patógeno en sus cuerpos por meses o por el resto

de su vida constituyéndose en portadores permanentes. Se considera que del 2 al 4% de las personas que sufren la fiebre tifoidea, se convierten en portadores de la bacteria *Salmonella typhi*. Este porcentaje es mucho más alto durante las epidemias de salmonelosis. La sobrevivencia de este organismo aumenta en temperaturas bajas y cuando hay altos niveles de nutrientes. En el caso de *Shigella* el porcentaje de personas que la excretan es menor (0.3 al 3%), además, no se encuentra comúnmente en animales, ni sobrevive por mucho tiempo en heces o aguas residuales, por lo que la frecuencia de shigelosis es menor a la de salmonelosis, sin embargo, las bajas temperaturas en aguas marinas y su resistencia en ambientes estuarinos la convierte en un riesgo (Laws, 1981; Dart y Stretton, 1977).

Normalmente una persona elimina aproximadamente 300 mil millones de *Escherichia coli* al día (Gauthier, 1980). El porcentaje de personas que excretan *E. coli* enteropatógena es del 1 al 10% (Laws, 1981), y la proporción de bacterias patógenas de esta especie es menor al 1%, lo cual daría la impresión de no presentar un riesgo muy grande para la salud. Sin embargo, debe considerarse que la población bacteriana de las heces humanas puede consistir de *E. coli* en una proporción del 5 al 50%, y su sobrevivencia en el ambiente está influenciada por factores que pueden impedir su reproducción, pero no necesariamente producir su muerte (Grimes y Colwell, 1986).

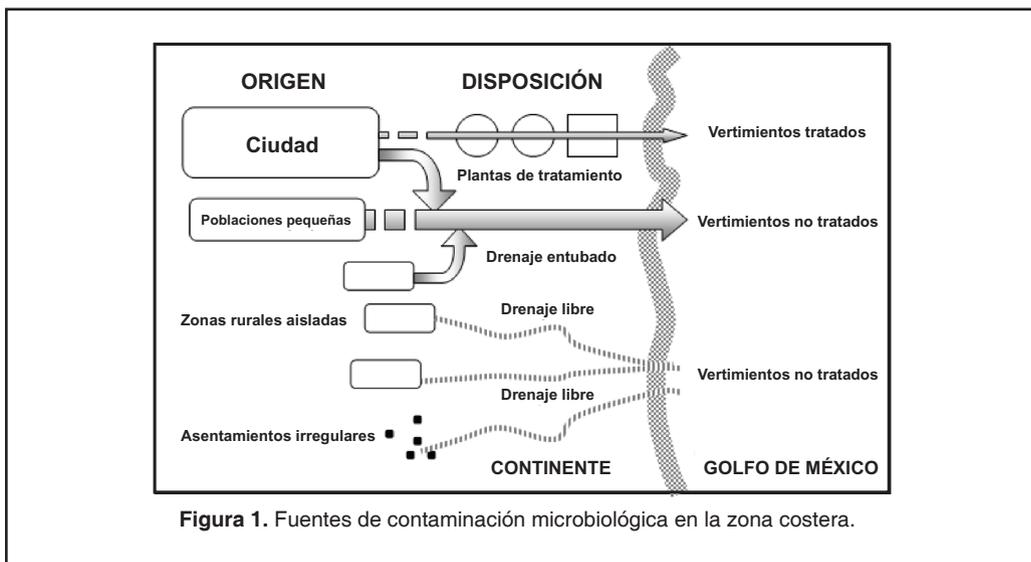


Figura 1. Fuentes de contaminación microbiológica en la zona costera.

Los estreptococos fecales son arrojados a las aguas residuales en promedio de 10 a 20 millones de bacterias por litro (Gauthier, 1980).

Además de bacterias aerobias y microaerobias, las aguas residuales transportan una importante cantidad de flora microbiana anaerobia constituida por otras especies (10 y 100 millones de gérmenes por litro). Entre éstas se encuentra *Clostridium tetani* y *C. botulinum* (Gauthier, 1980).

En relación a *Vibrio cholerae* aproximadamente del 2 al 10% de la población humana es portador saludable o convaleciente del cólera. Estas personas pueden arrojar vibrios durante períodos de 4 a 15 meses y la sobrevivencia de estos organismos en el agua puede fluctuar entre algunas horas a 13 días, además de soportar la cloración (Dart y Stretton, 1977).

La disposición inadecuada o incontrolada del agua puede afectar al hombre a través de varias rutas (Fig. 2). Algunas circunstancias, como la falta de circulación local del cuerpo receptor del agua de desecho y la cercanía entre pozos o depósitos, así como la presencia de letrinas, pueden influir también en la calidad del agua. Estos factores sumados al difícil acceso a servicios de salud pueden producir mayor morbilidad en poblaciones pequeñas, donde la incidencia debería ser menor, ya que los aportes de estas áreas son menores a los de las grandes ciudades (McJunkin, 1988).

Las fuentes de contaminación microbiológica no siempre están localizadas, estudios realizados en ambientes tropicales (Guam y Hawaii), apoyan la hipótesis de que las bacterias son capaces de establecerse por sí mismas en el suelo de islas tropicales y esto puede ser una fuente de bacterias fecales de origen "no fecal", debido a que la humedad y la temperatura de estos sitios son muy elevados. Las bacterias contenidas en el agua pasan a los arroyos que muestran niveles considerablemente altos de bacterias fecales y de ahí descargan a zonas costeras. Habría que cuestionarse si es necesario proponer una hipótesis similar para ambientes tropicales como México. (Fujioka *et al.*, 1999).

El control de la contaminación microbiológica tiene por lo tanto varios retos, para establecer las estrategias adecuadas del manejo del agua.

Recientemente se ha intentado modelar su comportamiento, considerando los aportes y la dinámica del ecosistema acuático receptor, para asegurar el cumplimiento de las normas sanitarias. Sin embargo, es difícil incluir en estos modelos a las fuentes difusas, como en el caso de asentamientos irregulares (Kay *et al.*, 1999).

Aunque existe abundante literatura sobre enfermedades relacionadas con el abastecimiento de agua y el control de epidemias, esta for-

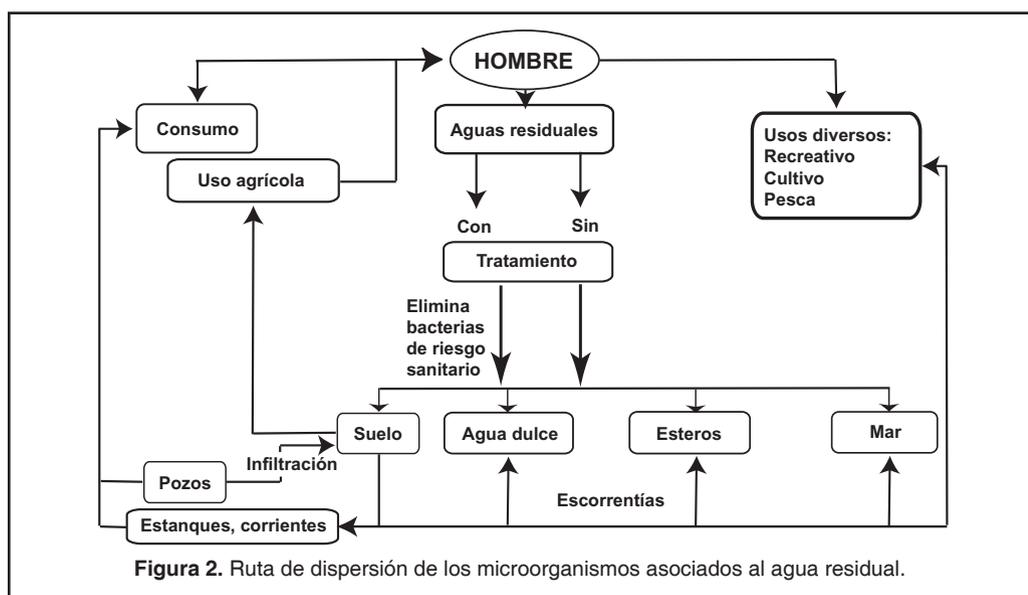


Figura 2. Ruta de dispersión de los microorganismos asociados al agua residual.

ma de contaminación está determinada por seres vivos, capaces de adaptarse a diversas situaciones, originados en sitios dispersos y en

proporciones variables, es muy difícil caracterizar las fuentes, de manera tan precisa como en el caso de otros contaminantes.

ORGANISMOS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

Es obvia la necesidad de evaluar a los microorganismos introducidos, por el riesgo que representan para la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas costeros; pero debido a la dificultad que esto representa, comúnmente se utilizan organismos indicadores como un medio para caracterizar el problema.

Entre los parámetros que se utilizan para establecer si el agua es adecuada para un fin específico, es decir para determinar la calidad del agua, está la cuantificación de indicadores de contaminación microbiológica. Estos organismos contenidos en el agua están asociados los aportes de agua residual y su importancia se relaciona con los riesgos que para la salud, representa la propagación de enfermedades infecciosas (James, 1979).

Si bien existe una variedad de microorganismos posibles de utilizar, los indicadores biológicos ideales deben reunir ciertas cualidades. Deben reflejar no solamente la presencia o ausencia de contaminación de un tipo específico, sino también los niveles de dicha contaminación y sus fluctuaciones periódicas. Los organismos considerados como indicadores biológicos adecuados, se pueden agrupar funcionalmente en tres categorías generales (Bonde, 1977):

- a)** Los que indican cambios en los factores ambientales.
- b)** Los utilizados para cuantificar los niveles de contaminación y para realizar monitoreos.
- c)** Los que se utilizan para pruebas bajo condiciones controladas en laboratorio y sirven para interpretar y evaluar la importancia de lo sucedido en el ambiente natural.

Un buen indicador biológico, debe reunir varias características: ser de fácil identificación y muestreo, ser cosmopolita, tener relevancia

económica y bioacumular contaminantes, su cultivo en laboratorio debe ser sencillo, su acervo genético y su nicho ecológico deben tener poca variabilidad y debe existir abundante información sobre su ecología (Hellawell, 1986).

Algunas especies pueden ser utilizadas como indicadores en un ambiente específico que ha sido contaminado y son útiles en tanto se conozcan sus intervalos de tolerancia a diversas condiciones. Estos organismos deben representar fielmente las características del medio, ser confiables, sensibles y fácilmente identificables (James, 1979). El organismo usado como indicador de contaminación, debe estar ausente del medio acuático a menos que el agua haya sido contaminada y generalmente no son miembros de la flora indígena del suelo o del sistema acuático (Pettibone *et al.*, 1987).

Con respecto a la contaminación microbiológica en cuerpos acuáticos, el indicador debe:

- a)** Estar presente cuando existan los microorganismos patógenos.
- b)** Estar presente cuando haya riesgo para la salud por la presencia de patógenos
- c)** Estar presente en cantidades mayores que las de los microorganismos patógenos para proporcionar un margen de seguridad.
- d)** Sobrevivir en el ambiente tanto tiempo como los patógenos potenciales.
- e)** Ser fáciles de detectar e identificar, sin importar que otros microorganismos estén presentes en la muestra.
- f)** Crecer rápidamente sobre medios relativamente simples.
- g)** Crecer en un medio artificial de manera independiente a la presencia de cualquier otro organismo y no ser inhibido por éste.

- h) Ser más resistente a la desinfección que los patógenos.
- i) Ser aplicables a todo tipo de agua.
- j) La densidad del indicador deberá correlacionarse con el grado de contaminación fecal o con el riesgo a la salud.

Se considera que coliformes y estreptococos satisfacen muchos de estos criterios, pero hay ciertas restricciones para su uso como indicadores universales (Boyle *et al.*, 1993; Godfree *et al.*, 1997).

Usualmente la complejidad en la identificación de microorganismos ha derivado en el uso frecuente de algunos indicadores para evaluar y controlar la calidad sanitaria del agua y organismos (Tabla 2).

El indicador más empleado es el grupo de coliformes, que son bacterias de origen entérico, pertenecientes al grupo coli-aerogenes, que tienen forma de bacilo, gram (-), saprofitas, microaerobias facultativas, capaces de fermentar la lactosa a ácido carbónico, con producción de gas. Al grupo pertenecen los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*, las cuales representan contaminación fecal. Se denominan coliformes fecales (CF) a las bacterias coliformes capaces de crecer a 44.5°C, entre las cuales se encuentra *Escherichia coli*, que es una bacteria común en el tracto digestivo, normalmente no patógena,

sin embargo, incluye cepas que pueden ser: enterotóxicas, enterohemorrágicas, enteropatógenas o enteroinvasivas; su presencia ha sido interpretada como indicativa de encontrar posiblemente organismos enteropatógenos incluyendo a *Salmonella* y *Shigella* (Haas *et al.*, 1999; Rheinheimer, 1992).

Entre las ventajas que representa usar a estos indicadores, se puede mencionar lo siguiente: su evaluación es relativamente simple y directa, se considera que niveles bajos de coliformes de origen fecal son buenos indicadores de ausencia de organismos patógenos (Hood *et al.*, 1983), su concentración en agua residual, unos 100 millones /100 mL (Metcalf y Eddy, 1991), es más alta que la de patógenos fecales y no se multiplican fuera del tracto intestinal de animales de sangre caliente por lo que su presencia en sistemas acuáticos es evidencia de contaminación de origen fecal (Laws, 1981).

Otro grupo de bacterias utilizado como indicador de contaminación fecal es el de estreptococos fecales (EF). Este resiste más a la desinfección que *E. coli*, también se puede enumerar y reduce su concentración más lentamente en el agua de mar, que el de coliformes fecales. En Norteamérica y Europa se ha demostrado que el uso de este grupo es valioso en los estándares de calidad del agua con fines recreativos en aguas marinas. Incluso se ha considerado mejor para predecir el riesgo de enfermedades gastrointestinales que el de coliformes fecales en dichas aguas. (Godfree *et al.*, 1997; Sinton *et al.*, 1994). Se ha reportado que el tiempo de sobrevivencia de los estreptococos en agua de mar es mayor que el de coliformes fecales (Fujioka *et al.*, 1981; Davies-Colley *et al.*, 1994). Se consideró que los EF guardaban cierta relación con las CF y que la proporción numérica de un grupo respecto al otro podría indicar si el origen era humano o animal (Laws, 1981). Actualmente la relación CF/EF ya no es utilizada, porque la proporción cambia en el ambiente como consecuencia de la mayor resistencia de los estreptococos (Godfree *et al.*, 1997).

Algunos autores han recomendado otros indicadores para evaluar contaminación no fecal, pero de origen humano, existen microorganismos capaces de transmitir infecciones no entéricas, que afectan la piel, oídos, nariz y garganta, cuya transmisión es por contacto, más

Tabla 2. Indicadores de la calidad del agua (Fuente: Laws, 1981; Rheinheimer, 1992)

Origen Fecal	Origen no Fecal Común en Agua Residual
Coliformes: incluye a los géneros <i>Escherichia</i> , <i>Citrobacter</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Klebsiella</i>	<i>Candida albicans</i>
Salmonellae: incluye al género <i>Salmonella</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Estreptococos fecales: incluye al género <i>Streptococcus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
Esporas de <i>Clostridium perfringens</i>	Bacteriófagos

que por ingestión, por ejemplo: *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, y *Candida albicans*, son especies potencialmente patógenas que pueden indicar contaminación por dos fuentes. La primera especie es saprófita, se distribuye ampliamente en el suelo, aguas negras, intestino de mamíferos, plantas y prolifera en aguas cercanas a desembocaduras de ríos contaminados, acompañada de otras bacterias fecales (Bonde, 1977). Esta especie tiene importancia particular en aguas estuarinas, donde las temperaturas altas del agua y los nutrientes disponibles permiten su crecimiento. La concentración de este organismo en descargas de agua residual y en cuerpos de agua receptor es baja (0-30 /100 ml), es poco frecuente que se encuentre en muestras de agua de mar y su presencia significa que las aguas superficiales han sido recientemente contaminadas (Yoshpe-Purer y Golderman, 1987). Las otras dos especies mencionadas, *S. aureus*, así como *C. albicans* se han encontrado en agua de mar (Efstratiou *et al.*, 1998).

Se ha considerado que las esporas de *Clostridium perfringens* son un buen indicador de contaminación microbiológica. Bonde (1977), enfatiza que cumple mejor que *E. coli* con las especificaciones de un indicador y un controlador. Ambos microorganismos son

siempre excretados juntos y con especies potencialmente patógenas. *C. perfringens* se presenta con mayor frecuencia que *E. coli*, es resistente a desinfectantes y a ambientes adversos. Además *C. perfringens*, *E. coli*, *S. faecalis* y *P. aeruginosa* son las únicas especies que pueden ser identificadas por métodos rápidos (Cabelli, 1979).

Otras bacterias con posibilidad de ser consideradas como indicadoras de contaminación cuando son abundantes, o inesperadas pertenecen al género *Bacillus* spp. Por ejemplo: *B. licheniformes* que se encuentra en agua dulce, marina y residual; *B. cereus*, *B. pantothenicus* y *B. sphaericus* se encuentran en sedimentos cercanos a la costa, y *B. subtilis* en heces.

Algunos investigadores consideran que *Aeromonas hydrophila* puede servir como indicador de que el ambiente está contaminado, tanto en agua salobre como en marina (Bonde, 1977).

La utilización de un sólo indicador puede conducir a resultados erróneos al caracterizar la calidad sanitaria de un cuerpo de agua para evidenciar el peligro potencial de patógenos (Dutka, 1979), por lo que deben evaluarse varios indicadores al mismo tiempo. Además estos análisis deben ser simultáneos al registro de parámetros fisicoquímicos (Orlob, 1956).

TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE LOS INDICADORES

Generalmente los indicadores se analizan con las técnicas tradicionales de cultivo como son: la determinación del Número Más Probable (NMP) y las Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

Las pruebas se seleccionan según el tipo de muestra. Así, si es necesario diluirla, se obtendrán NMP por el método de tubos múltiples, si por el contrario, el agua esta muy limpia, es necesario concentrarla. En este caso, la muestra se hace pasar por un filtro de membrana y se cultiva en medios sólidos, para obtener UFC. En agua con cero tolerancia se determina presencia/ausencia (P/A) de bacterias coliformes (APHA, 1995). Estas pruebas generalmente se contemplan para las normas mexicanas (DOF, 1995 y 1996; SEMARNAT, 1996).

Otras técnicas utilizadas en el análisis de indicadores incluyen la determinación de esteroides fecales como el 5 β -colestano-3 β -01 (coprostanol) encontrados en heces humanas y animales; enumeración de bacteriofagos que relacionan la presencia de fagos con la de *E. coli* (Toranzos y McFeters, 1997).

Recientemente se han desarrollado pruebas más rápidas que permiten obtener resultados en pocas horas. Por ejemplo, en la determinación de NMP suelen incluir sustratos para enzimas específicas como el ONPG (ortho-nitrophenol- β -D-galactopiranosido) y el MUG (4-metilumbeliferil- β -D-glucuronido) que se usan para la detección de β -galactosidasa y β -glucuronidasa respectivamente, las cuales son enzimas presentes en coliformes y *E. coli*, además de pruebas moleculares, como el de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) (Sartory y Watkins, 1999).

ORGANISMOS PATÓGENOS

El análisis de la contaminación microbiológica por indicadores, se encuentra cuestionado por el hecho de que recientemente se ha probado que algunos patógenos son más resistentes que ellos. El comportamiento de los microorganismos en el ambiente es complejo y en ocasiones la ausencia de resultados con la evaluación a través de indicadores no asegura la ausencia de patógenos (Haas *et al.*, 1999). Este comportamiento se describe en el siguiente capítulo.

Es claro que el panorama de la contaminación microbiológica debe ampliarse, porque no sólo incluye a las bacterias asociadas a los grupos indicadores, sino a otros patógenos pertenecientes a diversos grupos, además de que las fuentes deben ser consideradas.

En las enfermedades cuyo vector es el agua, es necesario considerar la transmisión secundaria (que se transmite entre individuos sin tener un contacto con la fuente), además de la primaria (de la fuente al individuo), (Haas *et al.*, 1999).

Los agentes causantes de enfermedades transmisibles por el agua son muy diversos y es imposible describirlos todos, pero entre estos destacan algunos que vale la pena mencionar (Tabla 3). Muchos de ellos son bacterias, virus y parásitos (Abel, 1996), pero también existen otros organismos pertenecientes a una amplia gama taxonómica, incluyendo huevos o quistes de metazoarios que por la dimensión del organismo adulto no se consideran comúnmente en la contaminación microbiológica, que recientemente han cobrado interés por relacionarse con enfermedades emergentes.

Los organismos patógenos contenidos en el agua pueden originar brotes epidémicos. En una población humana se presenta un balance de enfermedades que puede considerarse la tasa de morbilidad.

Si una enfermedad ocurre continuamente en una población en un nivel mayor que el normal y puede anticiparse su presencia, se dice que esta es endémica (Haas *et al.*, 1999).

Sin embargo, cuando una enfermedad rebasa cierta frecuencia en una población en la cual antes era rara, se habla de un brote (Fig. 3) y cuando esta enfermedad se propaga por la población e incluso en diversas poblaciones se está hablando de una epidemia, Más aún si la propagación es a nivel mundial se denomina pandemia.

Cada organismo patógeno que origina una enfermedad, tiene un patrón específico. Por ejemplo, el comportamiento de la séptima epidemia del cólera, causada por *Vibrio cholerae* O1 biotipo El Tor, serotipo Inaba, originada en Perú en 1991, llegó a México en junio del mismo año, causando un brote de 27 casos en San Miguel Totolmoloaya, municipio de Sultepec, en el estado de Morelos (INDRE, 1991). Subsecuentemente el cólera se esparció ampliamente, identificándose en 17 estados, principalmente en los del Golfo de México. La mayoría de los casos se presentaron entre julio y octubre (Tauxe *et al.*, 1994). La Secretaría de Salud tiene los registros de los casos desde 1991 a la fecha, (Fig. 4), presentándose la mayor incidencia del cólera en septiembre de 1995, desde 2002 no se han registrado casos (SS, 1991-2003).

LITERATURA CITADA

Abel, P.D., 1996. Water Pollution Biology. Tony & Francis, U.K. 286 p.

American Public Health Association (APHA), 1995. Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters, 19th Ed. American Public Health Association, American Waterworks Association, Water Environ-

ment Federation. American Public Health Association, Washington, D.C. 1220 p.

Aubert, M., P. Koch, y J. Garancher, 1969. The diffusion of bacterial pollution in the sea, 793-809. In: S.H. Jenkins (Ed.). Advances in Water Pollution Research. Pergamon Press. N.Y. 946 p.

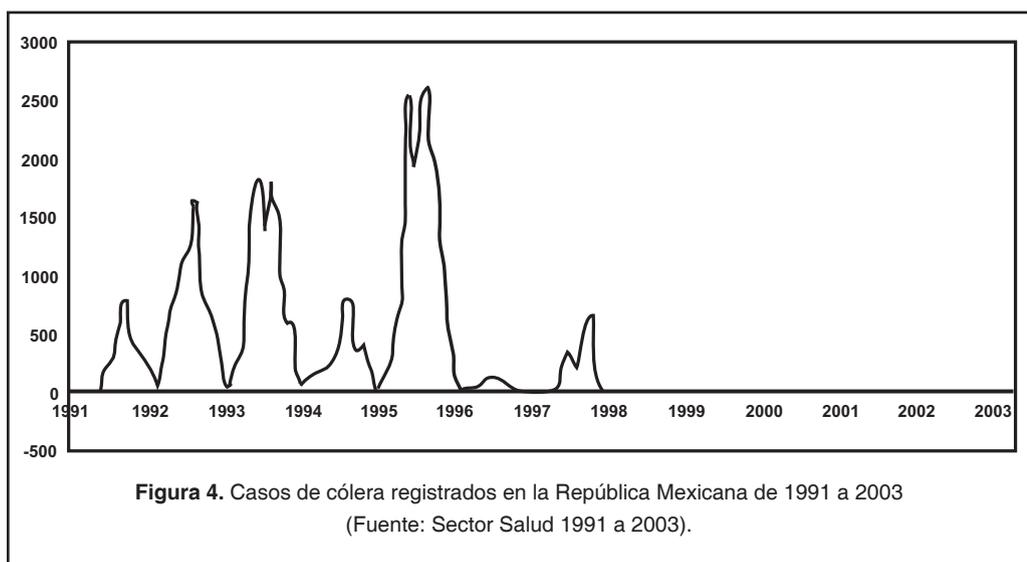
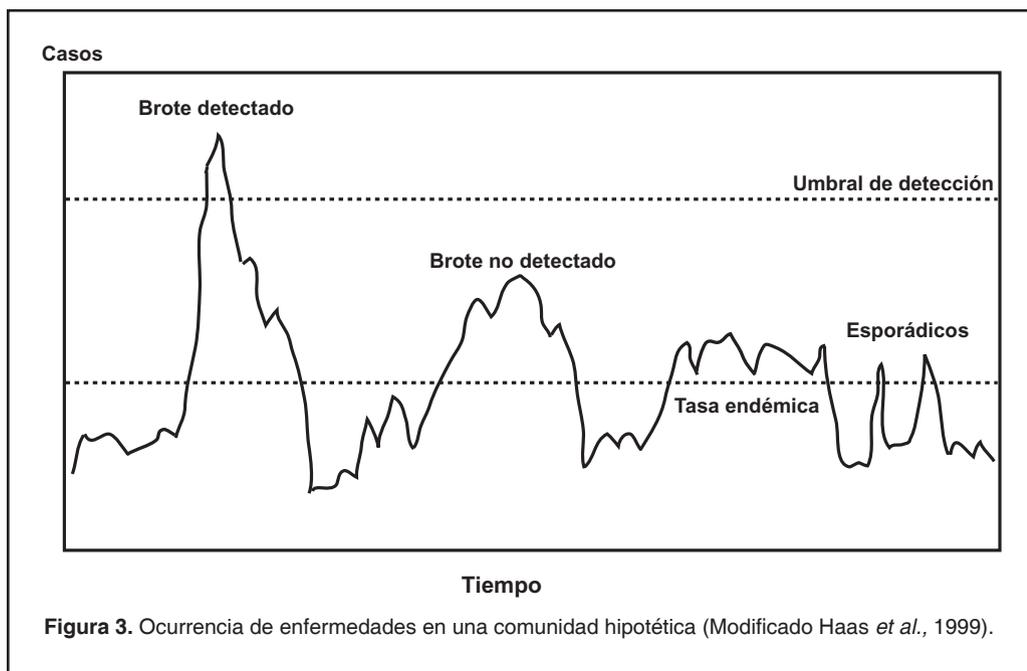
Tabla 3. Agentes de interés asociados a enfermedades relacionadas con el agua.(Fuente: Abel, 1996; Hass *et al.*, 1999, Koneman *et al.*, 1992; McJunkin, 1988; Moe, 1997; Reilly y Käferstein, 1991; Rheinheimer, 1992).

Virus		
Enterovirus	Hepatitis	En México es abundante la hepatitis A.
	Polivirus	Causantes de la poliomielitis.
	Echovirus	Meningitis, gastroenteritis.
	Coxsackievirus	Enfermedades respiratorias, del corazón, meningitis y otras.
Parvovirus		Enfermedades respiratorias, conjuntivitis, gastroenteritis.
Rickettsias y Clamidias		Son parásitos obligados.
Bacterias		
<i>Escherichia coli</i>		Ha sido aislada en aguas tropicales no contaminadas, pero se asocia siempre a los aportes fecales.
	<i>E. coli</i> enteropatógena	Síndromes diarreicos principalmente en niños.
	<i>E. coli</i> enterotoxigénica	Diarrea secretora o Diarrea del viajero.
	<i>E. coli</i> enteroinvasiva	Diarrea inflamatoria, ataca células epiteliales intestinales.
	<i>E. coli</i> hemorrágica	Diarrea hemorrágica, incluye la cepa O157:H7* que ha mostrado resistencia a los antibióticos.
Salmonella		2000 serotipos conocidos, algunos causan infecciones.
	<i>S. typhi</i> y <i>S. paratyphi</i>	Fiebre tifoidea y paratifoidea.
Campylobacter	<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis aguda con heces mucoides y sangrantes.
Vibrio		Incluye especies nativas de ambientes salobres.
	<i>V. cholerae</i> O1	Causantes de cólera.
	<i>V. parahaemolyticus</i>	Gastroenteritis aguda.
Legionella	<i>Legionella pneumophila</i>	El género incluye 12 especies relacionadas con neumonía.
Klebsiella	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Neumonía.
Enterobacter	<i>Enterobacter aerogenes</i>	Infecciones oportunistas.
Serratia	<i>Serratia</i> spp	Infecciones oportunistas.
Brucella	<i>B. melitensis</i>	Causa la brucelosis.
Clostridium	<i>C. botulinum</i>	Botulismo.
	<i>C. perfringens</i>	Gangrena gaseosa.
Staphylococcus	<i>S. aureus</i>	Infecciones en vías respiratorias y piel.
Pseudomonas	<i>P. aeruginosa</i>	Aisladas en agua, dermatitis y conjuntivitis.
Mycoplasma	<i>M. pneumoniae</i>	Neumonía atípica.
Mycobacterium	<i>M. marinum</i> y <i>M. balnei</i>	En agua dulce, marina y estuarina.
*Cianbacterias		
	<i>Anabaena</i> <i>Aphanizomenon</i> <i>Microcystis</i>	Las toxinas generadas por sus florecimientos, producen efectos diversos como gastroenteritis, daño en hígado, disentería e irritaciones de ojos y piel.
Hongos		
	<i>Candida albicans</i>	
	<i>Trichophyton</i>	Dermatofito que se encuentra en la arena de la playa.
Protozoarios		
Amibas	<i>Entamoeba histolytica</i>	Disentería amibiana.
	<i>Negleria fowleri</i>	Meningoencefalitis.
Flagelados	<i>Giardia lamblia</i>	Desordenes gastrointestinales.
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Se sabe desde 1985 que es parásito intestinal humano
*Microsporidia	<i>Encephalitozoon</i> , <i>Enterocytozoon</i> , <i>Septata</i> <i>Pleistophora</i> , <i>Vittaforma</i>	Orden del Phylum Microspora, desde 1985 se reconocen 5 géneros con especies patógenas al hombre.
Cyclospora	* <i>C. cayetanensis</i>	Diarreas, descrito como patógeno humano en 1993, afecta a pacientes inmunocomprometidos.
*Catalogados como patógenos emergentes relacionados con el agua		

Tabla 3 (Continuación). Agentes de interés asociados a enfermedades relacionadas con el agua
(Fuente: Abel, 1996; Hass *et al.*, 1999, Koneman *et al.*, 1992; McJunkin, 1988; Moe, 1997; Reilly y Käferstein, 1991; Rheinheimer, 1992).

Metazoarios		
Nemátodos	<i>Trichuris trichura</i>	Anemia, pastroenteritis y disentería.
Céstodos	<i>Taenia solium</i> y <i>T. saginata</i>	Solitaria.
Nematelmintos	<i>Ascharis lumbricoides</i>	Lombriz intestinal.

*Catalogados como patógenos emergentes relacionados con el agua.



- Baross, J.A., F.J. Hanus, y R.Y. Morita, 1975.** Survival of human enteric and other sewage microorganisms under simulated deep-sea conditions. *Appl. Microbiol.*, 30 (2): 309-318.
- Bonde, G.T., 1977.** Bacterial indication of water pollution, p. 273-364. *In:* M.R. Droop and H.W. Jannash (Eds.) *Advances in Aquatic Microbiology*. Vol. 1. Academic Press. London, U.K. 378 p.
- Boyle, O.C., B.F. Masterson, y L. Stapleton, 1993.** The use of Indicator organisms for the protection of recreational users of estuarine and coastal waters from risks to health. 37-54. *In:* D.W. Jeffrey y B. Madden (Eds.) *Bio-indicators and Environmental Management*. Academic Press. N.Y. 488 p.
- Cabelli, V., 1979.** What do water quality indicators indicate?, p. 305-336. *In:* R.R. Colwell and J. Foster (Eds.) *Aquatic Microbial Ecology*. Procc. of the ASM Conference. Clearwater Beach, Florida. A Maryland Sea Grand Pub. U.S. 460 p.
- Dart, R.K., y R.J. Stretton, 1977.** *Microbial Aspects of Pollution Control*. Elsevier Scientific Pub. Co. N.Y. 265 p.
- Davies-Colley, R.J., R.G. Bell, y A.M. Donnison, 1994.** Sunlight inactivation of enterococci and fecal Coliforms in sewage effluent diluted in seawater. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60 (6): 2049-2058.
- Dutka, B.J., 1979.** Microbiological indicators, problems and potential of new microbial indicators of water quality, p. 18-23. *In:* James, L. Evison (Eds.) *Biological Indicators of Water Quality*. J. Wiley & Sons. G.B. 528 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1995.** Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA1-1993. Bienes y Servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones Sanitarias. Marzo 24.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1996.** Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental para uso y consumo humano- Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Enero 18.
- Efstratiou, M.A., A. Mauridou, S.C. Richardson, y J.A. Papadakis, 1998.** Correlation of bacterial indicator organisms with *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* in sea water, *Lett. Appl. Microbiol.*, 26: 242-346.
- Fujioka, R.S., H.H. Hashimoto, E.B. Siwak, y H.F. Young, 1981.** Effects of sunlight on survival of indicator bacteria in seawater. *Appl. Environ. Microbiol.*, 41(3): 690-696.
- Fujioka, R., C. Sian-Denton, M. Borja, J. Castro, y F. Morphew, 1999.** Soil: The environmental source of *Escherichia coli* and *Enterococci* in Guam's Streams. *J. Appl. Microbiol. Suppl.*, 85: 83S- 85S.
- Galindo, R.J.G., 1988.** Contaminación en los Ecosistemas Costeros. Un Enfoque Ecológico. Cuadernos Docentes. Coordinación General de Investigación y Postgrado. Univ. Autón. Sin., México, 58 p.
- Gauthier, J.M. 1980.** Poluciones bacterianas en el medio marino, p. 127-141. *In:* J.M. Pérez (Ed.) *La Polución de las Aguas Marinas*, Ed. Omega, España. 247 p.
- Godfree, A.F., D. Kay, y M.D. Wyer, 1997.** Faecal streptococci as indicators of faecal contamination in water. *J. Appl. Microbiol. Symp. Suppl.*, 85:110S- 119S.
- Grimes, D.J. y R.R. Colwell, 1986.** Viability and virulence of *Escherichia coli* suspended by membrane chamber in semitropical ocean water. *FEMS Microbiol. Letters*, 34: 161-165.
- Haas, Ch.N., J.B. Rose., y Ch. P. Gerba, 1999.** Quantitative Microbial Risk Assessment. J. Wiley & Sons. N.Y. 449 p.
- Hellawell, J. M., 1986.** *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier Applied Science Pub. N.Y. 546p.
- Hood, M.A., G.E. Ness, y N.J. Blake, 1983.** Relationship among fecal coliforms, *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. in shellfish. *App. Environ. Microbiol.*, 45(1): 122.126.
- Instituto Nacional de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica (INDRE), 1991.** Situación del cólera en México. *Bol. Quincenal Cólera/Diarreas Infecciosas*, 5:1
- James, A., 1979.** The value of biological indicators in relation to other parameters of water quality, p. 1-16. *In:* A. James, L. Evison (Eds.) *Biological Indicators of Water Quality*. J. Wiley & Sons. G.B. 528 p.
- Kay, D., M.D. Wyer, I. Crowther, y L. Fewtrell, 1999.** Faecal indicator impacts on recreational water: budget studies and diffuse source modeling. *J. Appl. Microbiol. Symp. Suppl.*, 85:70S-82S.
- Koneman, E. W., S. P. Allen, V. R. Powell, W.H. Janda, H. M. Sommers, y W.C. Winn, 1992.** *Diagnóstico Microbiológico*. Ed. Panamerican. Buenos Aires. 909 p.
- Laws, E.A., 1981.** *Aquatic Pollution*. J. Wiley & Sons. N.Y. 482 p.
- Lynch, J.M., y J.E. Hobbie, 1988.** *Microorganisms in Action: Concepts and Applications in Microbial Ecology*. Blackwell Scientific Pub. London, U.K. 363 p.

- McCoy, J.H., 1971.** Sewage pollution of natural waters, p. 30-42. *In:* G. Sykes y F.A. Skinner (Eds.) *Microbial Aspects of Pollution*. Academic Press. London, U.K. 287 p.
- McJunkin, F.E., 1988.** Agua y Salud Humana. Limusa. México. 231 p.
- Metcalf & Eddy, Inc., 1991.** Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse. Mc. Graw-Hill International Editors. N.Y. 1334 p.
- Moe, Ch.L., 1997.** Waterborne transmission of infectious agents. p. 136-152. *In:* Ch. J. Hurst, G.R. Knudsen, M.J. McInerney, L.D. Stetzelbach, and M.V. Walter (Eds.) *Manual of Environmental Microbiology*. ASM. Press. Washington, D.C. 94 p.
- Orlob, G.T., 1956.** Stream pollution. Viability of sewage bacteria in seawater. *Indust. Wastes*, 28 (9):1147- 1167.
- 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.
- Reilly, A. y F. Käferstein, 1999.** Food safety and products from aquaculture. *J. Appl. Microbiol. Symp. Suppl.*, 85: 249S – 257S
- Rheinheimer, G., 1992.** Aquatic Microbiology. J. Wiley & Sons. N.Y. 365 p.
- Sartory, D.P., y J. Watkins, 1999.** Conventional culture for water quality assessment: is there a future?. *J. Appl. Microbiol. Symp. Suppl.*, 85: 225S – 233S.
- Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT), 1996.** Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, México. Abril 30 de 1997.
- Secretaría de Salud (SS), 1991.** Boletín cólera/diarreas infecciosas. Instituto Nacional de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica, 1: 1-7.
- Secretaría de Salud (SS), 1992.** Boletín Semanal de Vigilancia Epidemiológica del Cólera en México. Semana 24. Secretaría de Salud. 2: 1-12 p.
- Secretaría de Salud (SS), 1993.** Boletín cólera/diarreas infecciosas. Instituto Nacional de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica. México. 3:218-224.
- Secretaría de Salud (SS), 1994.** Boletín cólera/diarreas infecciosas. Instituto Nacional de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica. México. 4: 434-456, 598-601.
- Secretaría de Salud (SS), 1995.** Sistema Único de Información. Epidemiología. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. México. 1: 52.
- Secretaría de Salud (SS), 1996.** Sistema Único de Información. Epidemiología. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. México. 1: 52.
- Secretaría de Salud (SS), 1997.** Sistema Único de Información. Epidemiología. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. México. 1: 52.
- Secretaría de Salud (SS), 1998.** Sistema Único de Información. Epidemiología. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. México. 1: 43.
- Secretaría de Salud (SS), 1999.** Sistema Único de Información. Epidemiología. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. México. 1: 52.
- Secretaría de Salud (SS), 2000.** Sistema Único de Información. Epidemiología. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. México. 1: 52.
- Secretaría de Salud (SS), 2001.** Sistema Único de Información. Epidemiología. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. México. 1: 52.
- Secretaría de Salud (SS), 2002.** Sistema Único de Información. Epidemiología. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. México. 1: 52.
- Secretaría de Salud (SS), 2003.** Sistema Único de Información. Epidemiología. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. México. 1: 24.
- Schmitz, R.J., 1995.** Introduction to Water Pollution Biology. Gulf Publishing. Co. Huston, TX. 320 p.
- Sinton, L.W., R.J. Davies-Colley, y R.G. Bell, 1994.** Inactivation of enterococci and fecal coliforms from sewage and meatworks effluents in seawater chambers. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60 (6): 2040-2048.
- Toranzos, G. A., y G.A. McFeters, 1997.** Detection of indicator microorganisms in environmental fresh waters an drinking water, p 184-194. *In:* Hurst, Ch.J., G.R. Knudsen, M.J. McInerney, L.D. Stetzelbach, and M.V. Walter (Eds.) *Manual of Environmental Microbiology*. ASM. Press. Washington, D.C. 894 p.
- Tauxe, R., L. Seminario, R. Tapia, y M. Libel, 1994.** The Latin America epidemic, p 321-344. *In:* I.K. Wachsmuth, P.A. Blake, and O. Olvik (Eds.) *Vibrio cholerae* and Cholera Molecular to Global Perspectives. American Society for Microbiology. Washington, D.C. 344 p.
- Yoshpe-Purer, Y., y S. Golderman, 1987.** Ocurrance of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* in Israeli coastal water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 53 (5): 1138-1141.

Wong Chang, I., y G. Barrera Escorcía, 2005. Estado Actual de la Contaminación Microbiológica en el Golfo de México, p. 487-504. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Estado Actual de la Contaminación Microbiológica en el Golfo de México

Irma Wong Chang¹ y Guadalupe Barrera Escorcía²

¹Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

²Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

28

RESUMEN

El deterioro de la costa del Golfo de México se ha reconocido desde hace años. Existe un importante esfuerzo en el desarrollo de normas de protección ambiental, relativa a la contaminación microbiológica. Estas incluyen límites de emisión, de recepción, para cultivo de diferentes especies y contenidos para su consumo. Los niveles de contaminación microbiológica registrados en algunas regiones costeras del Golfo de México principalmente en Veracruz, Tabasco y Campeche, rebasan frecuentemente los límites permisibles de coliformes totales y fecales para agua y organismos. Las investigaciones realizadas en esta zona se han desarrollado principalmente a través de grupos indicadores y la identificación de algunas bacterias como: *Salmonella*, *Shigella*, *E. coli*, *Klebsiella*, *Proteus* y *Vibrio*. Los estudios realizados muestran que esta forma de contaminación es evidente y se atribuye al acelerado desarrollo demográfico, industrial y de actividades petroleras, los cuales han generado un aumento en el vertimiento de desechos que pueden afectar las actividades pesqueras y los cultivos de organismos marinos. Además de los efectos económicos y sociales, existe un riesgo potencial en la salud de los habitantes de la región debido a la presencia de organismos patógenos.

ABSTRACT

The deterioration of the Gulf of Mexico coastal zone has been demonstrated from several years. There is an important effort to develop norms for environmental protection about the microbiological pollution. It includes the emission, reception, culture and consumption limits. Microbiological pollution levels registered in some coastal regions of the Gulf of Mexico, mainly Veracruz, Tabasco and Campeche, frequently exceeds the total and fecal coliforms for water and organisms permissible limits. This researches made in this zone have been developed mainly with indicative groups and the identification of some bacteria as: *Salmonella*, *Shigella*, *E. coli*, *Klebsiella*, *Proteus* and *Vibrio*. The studies accomplished in the coastal zones show that this pollution is evident and it is attributed to an accelerated development of urban, oil and industrial activities, which have generated the increase of effluent of refuses affecting the fisheries activities and marine organisms culture. Besides, the economic and social effects, there is a potential risk in human health due to the presence of pathogenic organisms.

INTRODUCCIÓN

Las aguas de desecho urbanas, industriales y agrícolas que se descargan en los cuerpos de agua localizados en la vertiente oriental del país llegan finalmente al Golfo de México a través del drenaje superficial. El 90% de la pesca mundial se realiza en la plataforma continental y de ésta, el 70% esta constituida por organismos estuarinos (SEMARNAT, 2003). Es difícil determinar el efecto de cada uno de los factores que intervienen en la dispersión y desaparición de los microorganismos contenidos en las descargas de aguas residuales una vez que llegan a la zona costero-marina, sin embargo, el deterioro en la zona costera del golfo es reconocido desde hace años.

En el estado de Tamaulipas se califican como contaminadas: la cuenca baja del río Bravo, que abarca los ríos Salado, El Alamo y San Juan y los ríos San Fernando-Conchos, Pánuco, Soto la Marina, Carrizal y Guayalejo. Diversos colectores descargan aguas residuales en el río Bravo sin tratamiento previo. Por otro lado, los aportes de ingenios azucareros vertidos sobre el río Guayalejo, incorporan una fuerte carga orgánica. Durante los 90s se llevaron a cabo algunas actividades de saneamiento de los ríos y se comenzaron a fijar las condiciones particulares de descarga, así como también se iniciaron programas de monitoreo en algunos de ellos y en zonas de explotación de moluscos. El estado de Veracruz presenta varias cuencas hidrológicas con diferente nivel de deterioro. Entre las que se consideran más contamina-

das, se encuentra el río Coatzacoalcos particularmente en el tramo Minatitlán-Coatzacoalcos, la parte correspondiente del río Pánuco y el río Blanco, todos los cuales reciben agua residual doméstica y de zonas industrializadas; el río Nautla que está afectado fundamentalmente por ingenios azucareros y agua de beneficios de café y los ríos Tuxpan y Cazones. La industria petroquímica, de fertilizantes, así como otras, aportan una gran variedad de contaminantes. El estado de Tabasco presenta un importante deterioro derivado de los aportes de agua residual sin tratamiento y de los complejos petroquímicos, ingenios azucareros y uso inmoderado de agroquímicos, que son recibidos en los ríos Santana, San Felipe, el arroyo La Venta, la Laguna el Limón y la Laguna de las Ilusiones. En el estado de Campeche el problema principal se asocia a los mantos freáticos, sumideros, norias y pozos en las zonas costeras. Muchos municipios no cuentan con drenaje y alcantarillado. El río Champotón, la laguna de Pom y la península de Atasta, tienen problemas por aportes. Son importantes también los desechos de Ciudad del Carmen que llegan a la costa (CONADE, 1992).

El panorama de la contaminación en los cuerpos acuáticos del Golfo de México enfocado a la contaminación microbiológica debe analizarse en función de límites establecidos para su interpretación. En el país se ha desarrollado una base normativa que contempla estos aspectos.

NIVELES PERMISIBLES DE MICROORGANISMOS

Los criterios de control están definidos en términos de concentraciones permisibles de los grupos bacterianos: coliformes totales y coliformes fecales. La concentración de *E. coli* también es una prueba usada rutinariamente como indicador de coliformes fecales en el agua. La prueba de análisis más común en cuerpos acuáticos costeros es la determinación del Número Más Probable (NMP) de bacterias en 100 mL de muestra. También se utilizan las pruebas en medios de cultivo sólidos con filtro de membrana, en los cuales se contabilizan las Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

Los estándares de calidad de agua están descritos en términos de niveles permisibles en la emisión de agua residual o las concentraciones aceptables en el agua de cuerpos receptores a los que se da un uso determinado. Estos límites están establecidos por una serie de documentos oficiales que constituyen el marco legal a partir del cual se pueden articular las acciones de protección. Desde luego, el documento más importante es la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, publicada el 28 de Enero de 1988. Esta ley menciona en su artículo 117, párrafo II, que: “Corresponde

al estado y a la sociedad prevenir la contaminación de ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos y corrientes de agua incluyendo las aguas del subsuelo". En el párrafo IV indica que: "Las aguas residuales de origen urbano, deben recibir un tratamiento previo a su descarga". Lo anterior se considera básico para el establecimiento de criterios sanitarios de uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, así como para la formulación de normas que indican la calidad del agua para diversos usos (SEDUE, 1989).

Las Normas Oficiales Mexicanas que establecen los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales, se describen en tres partes: la primera, que indica los límites de contaminantes que puede tener el agua que se vierte en aguas y bienes nacionales y que es de 1,000 coliformes fecales (CF)/100 mL promedio mensual (SEMARNAT, 1996); la segunda, que indica los límites para agua residual que es eliminada en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, en la cual no se mencionan los grupos de bacterias (SEMARNAT, 1998a); y la tercera, relacionada con los niveles que puede contener el agua residual que será sometida a tratamiento y después reusada en servicios públicos, en este caso 1,000 CF/100 mL promedio mensual, si el servicio implica un contacto directo ocasional y 240 CF/100 mL si está implícito el contacto directo (SEMARNAT, 1998b).

Las industrias no tienen restricciones en caso de exceder estos límites, si las aguas de los procesos no se mezclan con las de servicios, en caso de que se prevea la infiltración de las descargas en subsuelo, o si depuran sus aguas. De otro modo, se considera que causan efectos adversos en los cuerpos receptores.

Los límites máximos permisibles de contaminantes en cuerpos receptores para la protección de la vida acuática (1,000 CF/100 mL) en agua dulce y humedales, así como para riego, y en agua costera y estuarios (240 CF/100 mL), se establecen en la "Ley Federal de Derechos. Normas aplicables en materia de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes" (CNA, 2003).

En ocasiones, el agua dulce de algunos esteros donde la influencia marina es mínima, se

utiliza como fuente de abastecimiento de agua potable. En estos casos, las bacterias coliformes totales (CT) no deben ser detectables o estar ausentes en el 95% de las muestras de la red de distribución en 12 meses de monitoreo en un mismo año. En este tipo de agua, tampoco debe presentarse *Escherichia coli* ni coliformes fecales (SS, 1996).

Los límites máximos permisibles que deben seguirse en moluscos bivalvos para su consumo y cultivo, incluyen otros indicadores, además de las bacterias coliformes (Tabla 1) (SS, 1995 y 1997).

Otros productos como moluscos cefalópodos y gasterópodos siguen disposiciones sanitarias semejantes, incluso existen para crustáceos (SS, 1997).

El grupo de coliformes fecales se ha utilizado como indicador de calidad sanitaria del ostión en términos de patógenos potenciales. Los niveles bajos de estos indicadores parecen dar un margen de seguridad respecto a la ausencia de patógenos pertenecientes al grupo, o relacionados con este, como las salmonelas. Los niveles de *E. coli* están fuertemente relacionados con las coliformes fecales en almejas y os-

Tabla 1. Límites permisibles de microorganismos para cultivo y consumo de moluscos en las costas mexicanas.

Indicador	Unidades	En moluscos	En agua para su cultivo
Mesofilos aerobicos	UFC/g	500,000	
Coliformes fecales	NMP/100g	230	
<i>Salmonella sp.</i>	en 25 g	Ausente	
<i>Vibrio cholerae</i> 01	en 59 g	Ausente	
Coliformes totales	NMP/100 mL		70
Coliformes fecales	NMP/100mL		14

Fuente: SS, 1995 y 1997

tiones, ya sea frescos o almacenados. La comparación de los niveles de coliformes totales, estreptococos fecales y *Clostridium perfringens* aportan información complementaria a los niveles de *E. coli*. Se considera que ciertos virus y otras especies acuáticas autóctonas patóge-

nas requieren del uso de mejores indicadores para establecer la calidad sanitaria del ostión y deberían incluirse en las normas, ya que estos patógenos no tienen relación directa con el grupo coliformes fecales (Hood *et al.*, 1983).

NIVELES DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA REGISTRADOS PARA EL GOLFO DE MÉXICO

En la zona costera del Golfo de México se presenta un acelerado desarrollo demográfico, industrial y de las actividades petroleras, lo que genera desechos que pueden ocasionar problemas de salud pública y afectar actividades como la pesca y el cultivo de organismos marinos con consecuencias económicas y sociales en las poblaciones localizadas en la región. Por lo que es indispensable contar con información de base que permita plantear soluciones a los problemas detectados, para que el desarrollo sea compatible con las actividades productivas de la zona costero marina.

A continuación se presenta un análisis de los estudios sobre contaminación microbiológica que han realizado diversos investigadores en

la zona costera del Golfo de México. Este análisis se presenta para las siguientes regiones: 1) Norte de Veracruz, 2) Centro de Veracruz, 3) Sur de Veracruz, 4) Tabasco, y 5) Campeche (Fig. 1).

Norte de Veracruz

La calidad sanitaria del agua de la laguna de Pueblo Viejo, ubicada al norte del estado de Veracruz (Fig. 2), ha sido estudiada por la Secretaria de Recursos Hidráulicos en 1974 y 1981 (De la Lanza y Cantú, 1986). La contaminación bacteriológica de esta laguna fue evaluada en agua, sedimento y ostión, a través

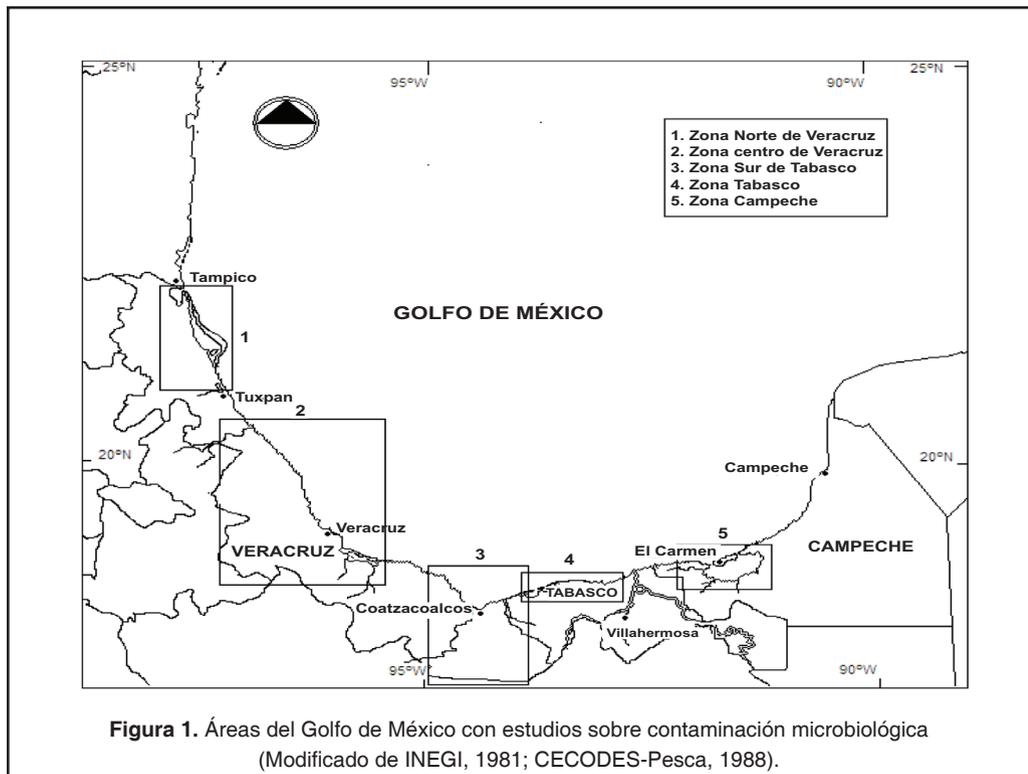


Figura 1. Áreas del Golfo de México con estudios sobre contaminación microbiológica (Modificado de INEGI, 1981; CECODES-Pesca, 1988).

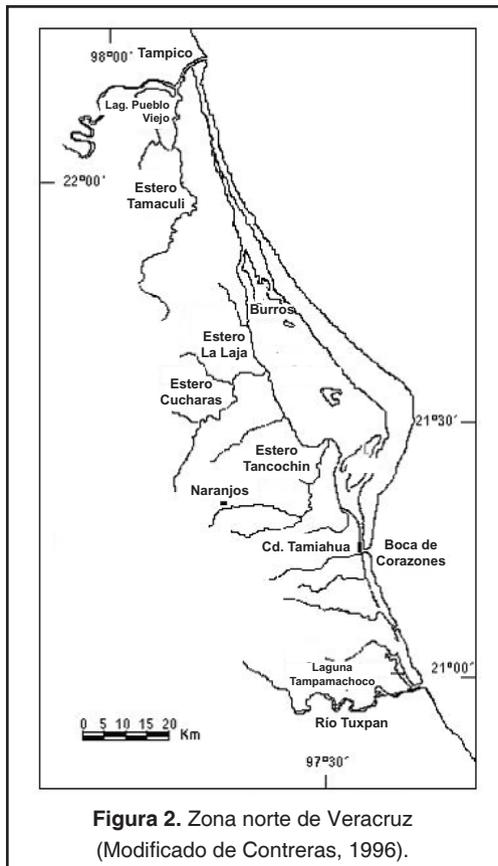


Figura 2. Zona norte de Veracruz (Modificado de Contreras, 1996).

de las concentraciones de bacterias coliformes y estreptococos fecales (EF) en 1994 y 1995. Se encontró que la calidad del agua fue inadecuada, tanto para cultivo de ostión, como para la recreación con contacto primario y para la protección de la vida acuática. La boca de la laguna tuvo el mayor número de bacterias CT y CF en agua y sedimento (Tablas 2 y 3). Los EF tuvieron un comportamiento semejante en agua, pero en sedimento se encontraron con una distribución uniforme en la laguna (Barrera *et al.*, 1998).

La zona sur de la laguna de Tamiahua (Fig. 2), ha sido estudiada de 1987 a 1988 por Barrera *et al.* (1995). Se determinaron CT, CF y EF en agua de superficie, fondo y sedimentos. Los resultados indicaron que los niveles de CT y CF excedieron los límites permisibles para áreas de cultivo de moluscos; sin embargo, los niveles de EF no resultaron tan altos. Una mayor proporción de bacterias en sedimento respecto al agua implica que los meses de julio y noviembre de 1987 fueron críticos, porque presentaron los niveles más altos de microor-

ganismos (Tabla 2 y 3). La época de lluvia fue la de mayores concentraciones de bacterias sobretodo frente al estero Tancochín, la ciudad de Tamiahua y la boca de Corazones en correlación inversa con la salinidad. Los EF tuvieron sus máximas concentraciones en la zona central de la laguna al norte de la isla del Ídolo y también en la boca de Corazones. Este grupo se consideró útil como indicador complementario de las coliformes, a pesar de no evidenciar estacionalidad.

En el estero La Ciénega ubicado frente a la ciudad de Tamiahua, se realizaron estudios de contenidos bacterianos (CT, CF y EF) de agua y sedimento. Martínez (1989), encontró los niveles más altos en la época de lluvias (agosto de 1988), en la que hubo un patrón aparente de mayores concentraciones relacionadas con mareas bajas. Las menores concentraciones se obtuvieron para la época de nortes. En el sedimento se encontró una mayor cantidad de bacterias respecto al agua. Los CT y CF rebasaron los límites máximos permisibles para explotación de moluscos en las tres épocas del año estudiadas, así como el de recreación con contacto primario en lluvias y sequía. Los EF rebasaron los límites para recreación con contacto primario en las tres épocas del año (Tablas 2 y 3).

En la parte media de la laguna, Maciel *et al.* (1990), determinaron CT, CF y EF en los esteros La Laja y Cucharas. El estero La Laja, a pesar de tener menor longitud y asociarse a menos poblados, se encuentra más contaminado por bacterias fecales, a diferencia de el estero Cucharas que recibe mayor aporte urbano e industrial, pero tiene mayor volumen y circulación, y por lo tanto, mayor capacidad de autodepuración. Además se evaluaron dos depósitos abiertos (La Bomba y La Tapada) que vierten sus aguas hacia el estero La Laja en época de sequía. Ambos son fuentes de agua de consumo humano para la población de La Laja. En ellos se encontraron altas concentraciones de coliformes que superaron con frecuencia los límites aceptables. El agua de ambos depósitos se consume sin tratamiento y no reciben aportes de descargas directas evidentes. Durante la estación de lluvia, el nivel del agua en el estero aumenta y se presentan escurrimientos que contaminan estos depósitos. El estero sí recibe aportes de aguas residuales, de manera que

Tabla 2. Concentraciones máximas de bacterias en agua del Golfo de México (NMP^a/100 mL).

Localidad	Año	N ^b	CT ^c (miles)	CF ^d (miles)	EF ^e (miles)	Referencia
Veracruz						
Laguna de Pueblo Viejo	1994-1995	24	>2.4	>2.4	>2.4	Barrera <i>et al.</i> , 1998
Laguna de Tamiahua:						
- Zona Sur	1978-1988	112	10	10	1.3	Barrera, 1995
- Estero Ciénega	1988-1989	120	10	10	8.2	Martínez, 1989
- Estero la Laja	1989-1990	36	10	10	10	Maciel <i>et al.</i> , 1990
- Estero Cucharas	1989-1990	42	1.8	2.8	2.5	Maciel <i>et al.</i> , 1990
- Toda la laguna	1994-1995	56	>2.4	>2.4	>2.4	Barrera <i>et al.</i> , 1999
- Banco ostrícola frente a Cd. de Tamiahua	1990	8		1.5	0.6	Guzmán, 1995
Puerto de Veracruz	1981	42	1.1	ND.	ND.	Farias y Camargo, 1981
Laguna de Alvarado		21	110			Ruiz <i>et al.</i> , 1990
- Sistema lagunar	1990-1991		2.8	0.40		Ramos, 1992
Región Coatzacoalcos:						
- Río	1982	9	240	240		Rodríguez y Botello, 1987
- Litoral	1982	5	24	24		
- Ciudad	1982	10	0.24	0.24		
- Laguna Ostión	1983	10	2.4	2.4		
- Cosoleacaque	1983	4	0.038	0.002		
- Minatitlán	1983 1984	10 5	0.24 0.008	0.24 0		
- Agua Dulce	1984	16	0.24	0.038		
- Las Chopas	1984	18	0.24	0.38		
- Nanchital	1986	10	0.96	0.020		
Río Tonala	1983	10	24	28		Rodríguez y Botello, 1987
Tabasco						
Laguna Ilusiones	1986	264	24	2.4		Sastre, 1990
Laguna Carmen-Machona	1979	18	0.24	0.24		Romero y Rodríguez, 1982
Campeche						
Laguna Balchacah	1978	20	0.24	0.24		Rodríguez y Romero, 1981
Laguna Puerto Rico y Boca de Atasta	1978 1981-1982	25 144	0.24 14	0.24 5		Rodríguez y Romero, 1981 Romero <i>et al.</i> , 1986
Laguna de Términos	1985-1986 1985-1988	39 39		0.24 0.24		Rodríguez y Botello, 1988 Pica, 1988
^a) NMP Número más probable; ^b) Número de muestras; ^c) Coliformes totales; ^d) Coliformes fecales; ^e) <i>Escherichia coli</i> ; ND) No determinado.						

se considera que existe riesgo de contaminación fecal, aunque no se tenga contacto directo, ya que los depósitos no están protegidos adecuadamente (Tablas 2 y 3).

Durante el ciclo 1994-1995 (Barrera *et al.*, 1999), se evaluó la contaminación bacteriológica

de toda la laguna de Tamiahua en agua, sedimento y ostión. Se encontró que la parte central de la laguna contenía altos valores de coliformes totales y fecales. La calidad sanitaria del agua fue inadecuada para cultivo de moluscos hasta en el 63% de las muestras, también fue inadecuada para la recreación con contacto

Tabla 3. Concentraciones de grupos bacterianos indicadores en sedimentos del Golfo de México (NMP^a/100 mL).

Localidad	Año	N ^b	CT ^c (miles)	CF ^d (miles)	EF ^e (miles)	Referencia
Veracruz						
Laguna de Pueblo Viejo	1994-1995	12	>240	46	110	Barrera <i>et al.</i> , 1998
Laguna de Tamiahua:						
- Zona Sur	1987-1988	36	91	91	38	Barrera, 1995
- Estero Ciénega	1988-1989	120	540	190	302	Martínez, 1989
- Estero la Laja	1989-1990	36	1,000	1,000	56	Maciel <i>et al.</i> , 1990
- Estero Cucharas	1989-1990	42	19	19	70	Maciel <i>et al.</i> , 1990
- Toda la laguna	1994-1995	27	>240	>240	24	Barrera <i>et al.</i> , 1999
- Banco ostrícola frente a Cd. de Tamiahua	1990	8		1.5	0.6	Guzmán, 1995
Región Coatzacoalcos:						
- Río	1982	18	240	88		Rodríguez y Botello, 1987
- Laguna Ostión	1982	10	24	3.8		
Río Tonala	1983	5	24	2.1		Rodríguez y Botello, 1987
Tabasco						
Laguna Carmen-Machona	1980 1981 1981	15 16 16	2,400 1,500 230	150 880 110		Botello y Rodríguez, 1982
Laguna Tupilco	1980 1981 1981	4 4 4	380 220 150	150 220 0.28		
Laguna Mecoacán	1980 1981 1981	15 15 15	2,400 2,400 230	380 500 140		
Campeche						
Laguna de Términos	1981-1982 1985 1985-1986	144 39 39	18 24	4.2 3.8 3.8		Romero-Jarero <i>et al.</i> , 1986 Rodríguez y Botello, 1988 Pica, 1988
^a) NMP Número más probable; ^b) Número de muestras; ^c) Coliformes totales; ^d) Coliformes fecales; ^e) <i>Escherichia coli</i> fecales; ND) No determinado.						

primario y para la protección de la vida acuática en el 26% de las muestras. Por lo que se consideró que estuvo en peores condiciones sanitarias que en el ciclo 1987-1988. La contaminación de la laguna se atribuye a los aportes de los esteros y a los asentamientos irregulares que se encuentran en la zona. Las escorrentías derivadas de las lluvias pueden tener importancia. Las altas concentraciones de bacterias en sitios de influencia marina se deben a la cercanía de poblaciones como la ciudad de Tamiahua ubicada frente a la Boca de Corazones. Los niveles en el sedimento pueden incrementar los contenidos de bacterias en el ostión. (Tablas 2 y 3).

Centro de Veracruz

En la zona costera del Puerto de Veracruz (Fig. 3), Farias y Camargo (1981), realizaron un estudio para evaluar los niveles de contaminación microbiológica causada por el aporte de aguas negras. Analizaron 42 muestras a 10, 20 y 30 metros de profundidad desde 14 puntos de emisión durante el verano. Los resultados hicieron patente el gran peligro que representa dicha contaminación para el equilibrio ecológico y la salud humana. Estos autores encontraron niveles de coliformes que excedieron los límites permisibles de calidad del agua (Tabla 2).

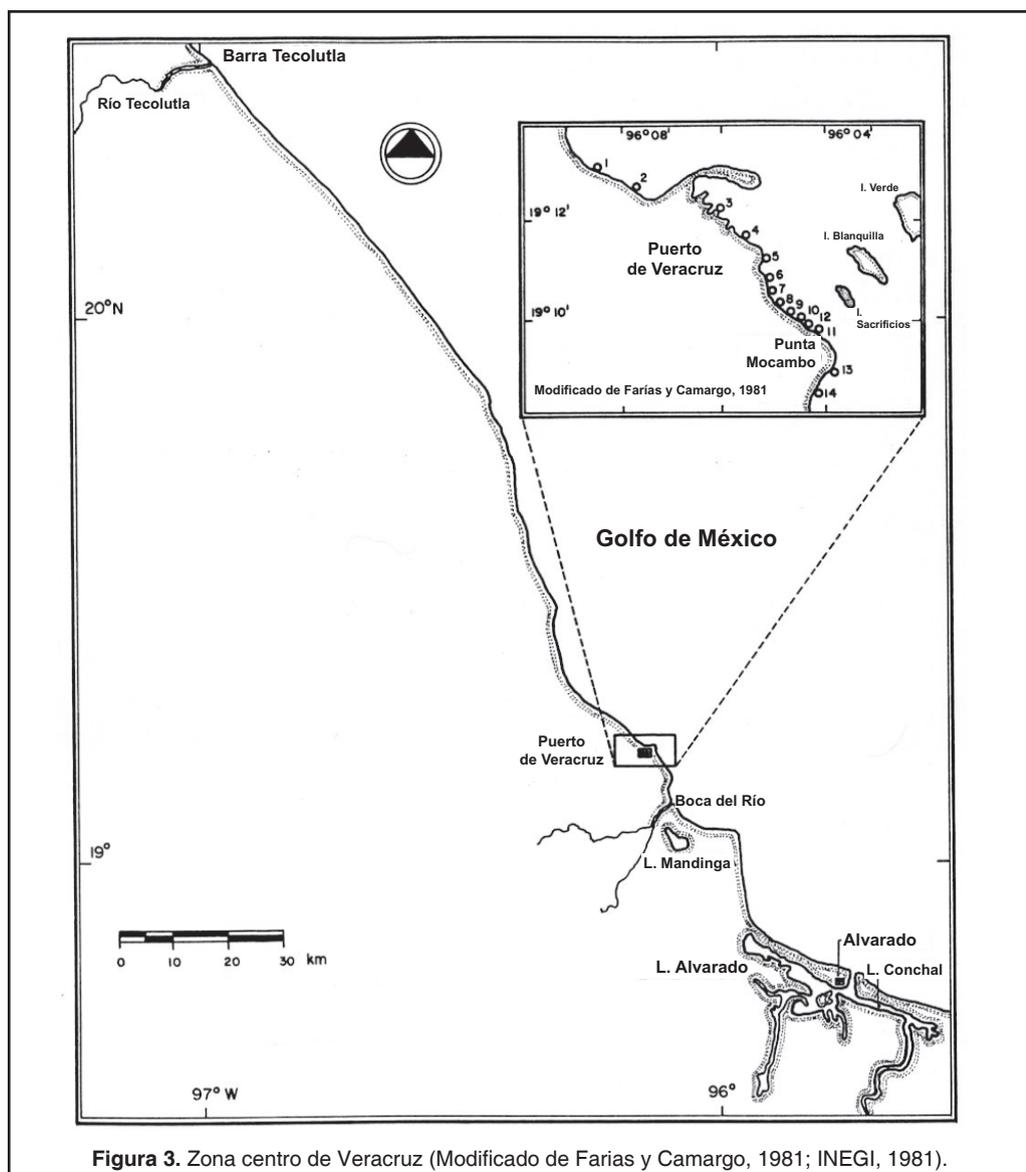


Figura 3. Zona centro de Veracruz (Modificado de Farías y Camargo, 1981; INEGI, 1981).

También se han hecho análisis de muestras de agua de la laguna de Alvarado (Fig. 3) para determinar la concentración de coliformes totales (Ruiz *et al.*, 1990). Las zonas más contaminadas corresponden al malecón y las pesquerías, así como a la zona costera frente a la población de Alvarado (Tabla 2).

Otro estudio realizado en el sistema lagunar de Alvarado en julio de 1990 a marzo de 1992, abarcó la laguna Camaronera, Buen País y Alvarado. Se encontró que ésta última presentó la mayor concentración de coliformes totales en septiembre. En la laguna Camaronera se determinó la máxima concentración de CT

y CF en marzo (Tabla 2). Se consideró que las descargas aledañas a Alvarado que no tienen tratamiento son la causa de las elevadas concentraciones.

Sur de Veracruz

La región cercana a la desembocadura del río Coatzacoalcos ha recibido particular atención, debido al incremento de su desarrollo industrial y crecimiento demográfico como consecuencia de la explotación petrolera en esta zona. En la cuenca baja del río (Fig. 4), Hernández *et al.*



Figura 4. Zona sur de Veracruz, en los límites con el estado de Tabasco (Modificado de INEGI, 1981).

(1988), analizaron muestras de agua registrando la presencia de *Salmonella* y *Shigella*. Los autores concluyeron que el área baja de la cuenca se encontró fuertemente contaminada (Tabla 4).

Rodríguez y Botello (1987), determinaron las concentraciones de CT y CF, así como de algunas bacterias patógenas en muestras de sedimento y agua superficial en la laguna del Ostión y río Coatzacoalcos en Veracruz, y en el río Tonalá en Tabasco (Fig. 4). Además analizaron la calidad sanitaria de la red de distribución de agua de varias ciudades asociadas a los ríos Coatzacoalcos y Tonalá. Los resultados obtenidos son semejantes a los descritos para las lagunas costeras localizadas en los estados de Campeche y Tabasco, citados en trabajos anteriores (Rodríguez y Romero-

Jarero, 1981; Romero-Jarero y Rodríguez, 1982). Estas áreas se encuentran contaminadas con bacterias coliformes por las aguas residuales que son descargadas sin recibir tratamiento previo. Se demostró la presencia de las bacterias *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp. y *Vibrio parahaemolyticus*, en las muestras de sedimento del río Coatzacoalcos y en la zona litoral. En el río Tonalá se determinó la presencia de *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Salmonella* sp. (Tablas 2, 3, 4 y 5). En las muestras de las redes de agua potable colectadas en las ciudades de Cosoleacaque, Minatitlán, Coatzacoalcos y Nanchital, asociadas al río Coatzacoalcos, así como Agua Dulce y Las Choapas asociadas al río Tonalá, se detectó la presencia de algunas bacterias. Los análisis indican una alta y constante contaminación bacteriana del grupo coliforme.

Tabla 4. Concentraciones de patógenos en muestras de agua (NMP^a/100 mL).

Localidad	Año	N ^b	NMP	Patógenos	Referencias
Veracruz, región Coatzacoalcos					
Río	1982	9	0 0 0	<i>Staphylococcus</i> <i>Salmonella</i> <i>Vibrio</i>	Rodríguez y Botello, 1987
Cuenca baja del río	1987		96 (cel/mL)	<i>Salmonella</i> <i>Shigella</i>	Hernández <i>et al.</i> , 1988
Litoral	1982	5	3.4 5.9 1.9	<i>Staphylococcus</i> <i>Salmonella</i> <i>Vibrio</i>	Rodríguez y Botello, 1987
a) NMP Número más probable; b) Número de muestras.					

Tabla 5. Concentraciones de patógenos en muestras de sedimentos (NMP^a/100 mL).

Localidad	Año	N ^b	<i>Staphylococcus</i>	<i>Vibrio</i>	<i>Salmonella</i>	Referencia
Veracruz						
Río Coatzacoalcos	1982	10	50	0	0.2	Rodríguez y Botello, 1987
Tabasco						
Laguna Carmen-Machona	1980	15	97	15		
	1981 Abr	16	31	1		
	1981 Dic	16	8.1	0.013		
Laguna Tupilco	1980	4	21	60		Botello y Rodríguez, 1982
	1981 Abr	4	13	0		
	1981 Dic	4	52	0.009		
Laguna Mecoacán	1980	15	79	16		
	1981 Abr	15	6	25		
	1981 Dic	15	8	0.017		
a) NMP Número más probable; b) Número de muestras.						

Las localidades de Cosoleacaque, Minatitlán y Coatzacoalcos presentaron las siguientes especies bacterianas: *Enterobacter aerogenes*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter spp.* y *Enterobacter cloacae* (Toledo *et al.*, 1988) (Tabla 6).

Tabasco

En el estado de Tabasco existen importantes centros ostrícolas localizados en las lagunas costeras Carmen-Machona, Tupilco y Mecoacán (Fig. 5), las cuales han sido estudiadas por Rodríguez y Romero (1981), Romero-Jarero y Rodríguez (1982), y por Botello y Rodríguez (1982), con el objeto de determinar la calidad bacteriológica del agua, sedimento y ostiones a través de los niveles de CT y CF

como indicadores de contaminación fecal, así como por la presencia de algunos géneros de bacterias que incluyen especies patógenas para el hombre como las del grupo de los estafilococos, salmonelas, vibrios y enterococos. Los resultados indican que las lagunas Carmen-Machona presentan altas concentraciones de CT y CF en sitios cercanos a centros urbanos, así como en áreas sin alta densidad poblacional. Estos resultados se deben al arrastre de excrementos de animales silvestres (mamíferos y aves), causado por las lluvias y posteriormente dispersadas por las corrientes de ríos y arroyos (Tabla 2). Con relación a los sedimentos, los resultados muestran altas concentraciones de coliformes (Tabla 3), concluyendo que existe una fuerte contaminación por bacterias fecales, a la que están expuestos los bancos ostrícolas. Asimismo, se presenta una alta contaminación por estafilococos y

Tabla 6. Porcentaje de muestras con bacterias patógenas en agua, sedimento y organismos.

Localidad	Año		%	Presencia	Patógenos	Referencia
Veracruz						
Norte	1998	Al	21.5 7 11		<i>V. cholerae</i> no O1 <i>V. cholerae</i> O1 <i>Salmonella</i>	Quiñónez-Ramírez <i>et al.</i> , 2000
Laguna de Tamiahua	1985	A A A O O		X X X X	<i>Salmonella</i> <i>E. coli</i> <i>Plesiomonas</i> <i>E. coli</i> <i>Plesiomonas shegeloides</i>	Rosas <i>et al.</i> , 1995
Laguna Alvarado	1989	A	60		<i>Salmonella-Shigella</i>	Botello, 1990
		S	80		<i>Vibrio</i>	
	A	100 ND				
	1989	O	100		<i>Salmonella-Shigella</i> <i>Vibrio</i>	
Laguna Mandinga	1990	A	83		<i>Salmonella-Shigella</i>	González <i>et al.</i> , 1988
		S	100			
	O			X	<i>E. aerogenes</i> <i>E. clocae</i> <i>Shigella</i> <i>Providencia</i> <i>E. coli</i> <i>Klebsiella</i>	
Veracruz						
Estero Tecolutla	1987	A		X	<i>Klebsiella</i> <i>Proteus</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Escherichia</i> <i>Acinetobacter</i> <i>Enterobacter</i>	González y Ruiz, 1989
		O			<i>K. pneumoniae</i> <i>E. coli</i> <i>P. vulgaris</i> <i>P. mirabilis</i> <i>E. hafniae</i> <i>E. agglomerans</i>	
A) Agua; S) Sedimentos; O) Ostión; Al) Almeja; X Determinados sin cuantificación; ND) No determinados.						

Tabla 6 (Continuación). Porcentaje de muestras con bacterias patógenas en agua, sedimento y organismos.						
Localidad	Año		%	Presencia	Patógenos	Referencia
Veracruz						
Cosoleacaque		A		X	<i>E. aerogenes</i> <i>E. coli</i>	Toledo <i>et al.</i> , 1988
Minatitlan	1987	A		X	<i>E. coli</i> <i>K. pneumoniae</i>	
Coatzacoalcos		A		X	<i>K. pneumoniae</i> <i>E. clocae</i> <i>citrobacter spp</i>	
Tabasco						
Laguna Carmen	1989	A	66.6		<i>Salmonella-Shigella</i>	Botello, 1990
		S	100			
		O	100			
Laguna Machona	1989	A	0		<i>Vibrio</i>	
		S	100			
		O	100			
Laguna Machona	1989	A	50		<i>Salmonella-Shigella</i>	
		S	75			
		O	100			
Laguna Mecoacán	1989	A	ND		<i>Vibrio</i>	
		S	100			
		O	100			
Laguna Mecoacán	1989	A	75		<i>Salmonella-Shigella</i>	
		S	100			
		O	100			
Laguna Mecoacán		A	100		<i>Vibrio</i>	
		S	100			
		O	100			
A) Agua; S) Sedimentos; O) Ostión; Al) Almeja; X Determinados sin cuantificación; ND) No determinados.						

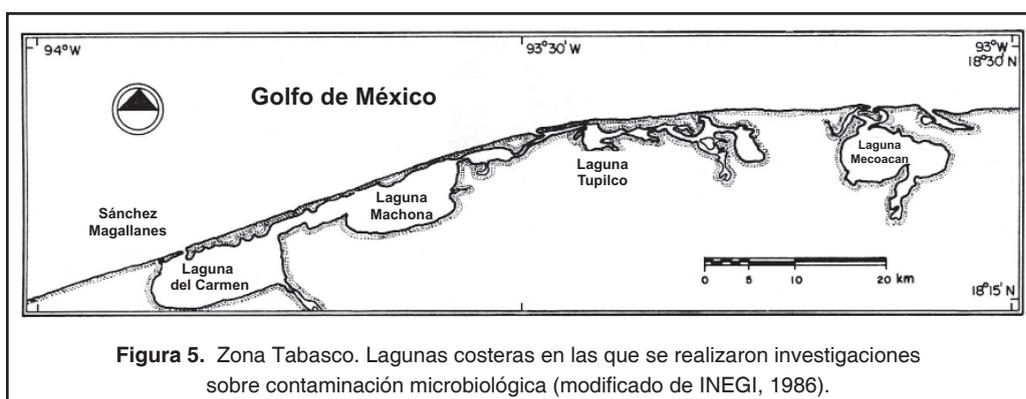
Vibrio sp. en algunas muestras de sedimento y ostión. Al no encontrarse enterococos se considera que la contaminación fecal no se debe a descargas recientes (Tabla 5).

calidad bacteriológica, los resultados indicaron que el uso de la laguna debía restringirse a actividades de remo y pesca, es decir de recreación sin contacto primario (Tabla 2).

En el extremo Noroeste de la ciudad de Villahermosa, se ubica la laguna de las Ilusiones. En esta se realizó una evaluación de la calidad bacteriológica de muestras de agua colectadas durante un año (Sastre, 1990) y se encontraron altas concentraciones de CT y CF como resultado de la falta de tratamiento de las descargas municipales. Las concentraciones de coliformes bajaron considerablemente durante la época de lluvias. En función de la

Campeche

Se han realizado estudios para evaluar la calidad sanitaria en la zona costera de Campeche que tiene importancia económica por su alta producción pesquera. Los resultados de concentraciones de CT y CF obtenidos en agua, sedimento y ostión en las lagunas de Términos,



Balchacah, Puerto Rico y en la Boca, se muestran en la figura 6 y tablas 2, 3 y 7, los cuales exceden los límites permisibles. En estos estudios se determinaron algunos géneros de bacterias indicadoras de contaminación fecal concluyendo que existe contaminación debido a los aportes de agua residual. Rodríguez y Romero-Jarero (1981), encontraron concentraciones bajas de coliformes durante la época de lluvias, debido aparentemente a la dilución de los efluentes contaminados, drenado de suelos, disturbios en sedimentos por las corrientes, frecuencia de aislamiento y posibilidad de sobrevivencia. Romero-Jarero *et al.*, (1986),

observaron disminución bacteriana en la época de sequías y en la de nortes debida aparentemente al desplazamiento de la capa superficial de agua por los fuertes vientos, concluyendo que la salinidad es un factor limitante para el desarrollo de coliformes fecales en el área de estudio. Rodríguez y Botello (1988), encontraron los niveles más bajos de bacterias durante el mes de mayo (época de sequía). A pesar de estas diferencias, todos los trabajos coinciden en que existe riesgo de que los bancos ostrícolas puedan estar contaminados por bacterias fecales, poniendo en peligro la salud humana.

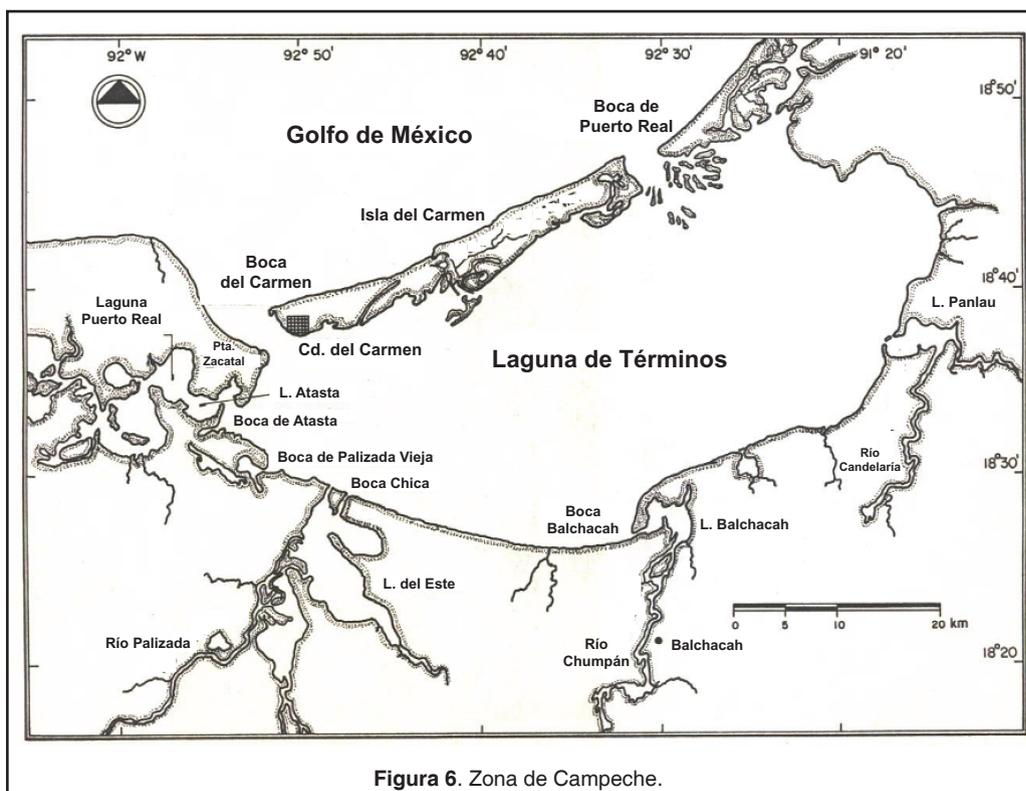


Tabla 7. Concentraciones de grupos bacterianos indicadores en organismos y agua de bancos ostrícolas del Golfo de México (agua NMP/100 mL; organismos NMP/100 g; NMP/100mL, macerado).

Localidad	Año	N ^a	CT ^b (miles)	CF ^c (miles)	EF ^d (miles)	Referencia
Veracruz						
Norte	1998	260		1,000 ^e		Quiñones-Ramírez <i>et al.</i> , 2000
Laguna de Pueblo Viejo	1994-1995	3	2.3	0.40		Barrera, 1998
Laguna de Tamiahua	1989-1990	24 ^e 83 ^g 98 ^h	540 ^e 100 ^h	87 ^e 98 ^g 88 ^h	30 ^e 98 ^g	Barrera, 1995
	1990	90		525 ^e	580 ^e	Guzám, 1995
	1994-1995	7	46 ^e	15 ^e	4.3 ^e	Barrera <i>et al.</i> , 1999
Veracruz y Tabasco. Centros Ostrícolas						
Tamiahua	1985	23	0.030 ^e 0.033 ^f	0.002 ^e 0.003 ^f		Rosas <i>et al.</i> , 1985
El Conchal	1985	23	70 ^e 9.8 ^f	15 ^e 0.370 ^f		
Carmen	1985	23	30 ^e 0.700 ^f	2 ^e 0.350 ^f		
Mecoacán	1985	23	20 ^e 1 ^f	0.015 ^e 0.200 ^f		
Tabasco						
Sánchez Magallanes			2,400 ^e 400 ^f	2,400 ^e 90 ^f		Rodríguez, 1986
Campeche						
Boca de Atasta	1985	3	4.8 ^e 2.4 ^f	0.4 ^e 0.005 ^f		Pica, 1988
Boca Plalizada Vieja	1985	3	4 ^e 3.8 ^f	4 ^e 2.4 ^f		
^a) Número de muestras; ^b) Coliformes totales; ^c) Coliformes fecales; ^d) <i>Streptococcus</i> fecales; ^e) Ostión; ^f) Agua; ^g) Jaiba; ^h) Lisa.						

CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA EN ORGANISMOS DEL GOLFO DE MÉXICO

El nivel de bacterias en organismos tiene importancia sanitaria, ya que algunos suelen consumirse crudos, como es el caso de los moluscos, y además representan una fuente de ingresos a nivel local y nacional. Las investigaciones realizadas en la zona costera del golfo presentan el siguiente panorama.

En un estudio realizado en almejas en la parte norte de Veracruz por Quiñones-Ramírez *et al.* (2000), se determinó la presencia de *Salmonella spp.*, *Vibrio cholerae* y organismos coliformes fecales. En todas las muestras analizadas se encontraron coliformes fecales y en un porcentaje menor se identificaron las bac-

terías mencionadas. La mayor frecuencia de muestras con patógenos se presentó en los meses de mayo, junio y julio de 1998 (Tablas 6 y 7). Además de los factores climáticos que favorecen su viabilidad, las operaciones primarias de manipulación y la ausencia de control, comprueban la necesidad de un monitoreo sostenido de la calidad sanitaria.

En la laguna de Pueblo Viejo, el ostión rebasó los límites permisibles para su consumo en las muestras extraídas en los años de 1994-1995 en el estudio realizado por Barrera *et al.* (1998) (Tabla 7).

En la laguna de Tamiahua, Barrera *et al.*, (1995) realizaron un estudio durante 1987-1988, en el cuál se determinaron niveles de CT y CF en ostión (*Crassostrea virginica*), en hemolinfa de jaiba (*Callinectes sapidus*) y en tracto digestivo de lisa (*Mugil cephalus*). El ostión no presentó una calidad adecuada para su consumo, particularmente en época de sequía. Las mayores concentraciones de coliformes y estreptococos se presentaron en jaiba en la época de lluvias y en lisa sólo se observó alta concentración de coliformes en la misma época. Este estudio tuvo un enfoque ecológico y sanitario, en él se analizó la concentración de bacterias por individuo, y si las variaciones se asociaban con los contenidos en agua y sedimento. Si bien, los contenidos de bacterias coliformes en tracto digestivo de peces no se consideraron de importancia sanitaria, el trabajo indicó que existe el riesgo de que el eviscerado afecte la calidad sanitaria del músculo durante su manejo, disminuyendo la calidad del producto. El análisis de la hemolinfa en jaiba se realizó debido a que este fluido no se encuentra completamente aislado del ambiente, lo cual quedó demostrado al asociarse las altas concentraciones en la época de lluvias con las altas concentraciones en agua. Esta situación también se presentó respecto al contenido del sedimento en el caso de las coliformes, pero no en el de estreptococos, los cuales no manifestaron estacionalidad. La presencia de estas bacterias en jaiba y lisa se consideró de origen exógeno (Tabla 7).

Otro estudio realizado en ostiones por Guzmán (1995), durante 1990 en 3 épocas climáticas, en el banco ubicado frente a la ciudad de Tamiahua, demostró la mala calidad sanita-

ria para su consumo en época de lluvia. Las bacterias CF en el agua no presentaron una correlación significativa con los niveles registrados en ostión, pero si la hubo con los EF. En este estudio se observó el efecto de almacenamiento comercial. Se evidenció que existe fluctuación en la densidad de bacterias a través del tiempo (120 h), incrementándose la mala calidad del producto, el cual generalmente es almacenado sin refrigeración (Tablas 2 y 7).

En el estudio realizado por Barrera *et al.* (1999) durante el ciclo 1994-1995, también en la laguna de Tamiahua, se consideró que el ostión era inadecuado para consumo humano en las 3 colectas realizadas en época de secas y lluvias. Los mayores niveles se encontraron en organismos extraídos en la isla del Toro, al centro de la laguna. En contraste con otros estudios, las muestras del banco de ostión de la isla del Ídolo presentaron buena calidad sanitaria, sin embargo, tuvieron altas concentraciones de estreptococos, grupo que no está incluido en las normas mexicanas.

En el estero Tecolutla (Fig. 3), se han evaluado los bancos de ostión por González *et al.* (1988) y González y Ruiz (1989). Los resultados indicaron que hay una predominancia de bacterias fecales de origen humano sobre las de origen animal, además se identificaron bacterias patógenas en las muestras analizadas (Tabla 6).

En las lagunas de Mandinga y Alvarado (Fig. 3) y del Carmen, Machona y Mecoacán (Fig. 5), se llevó a cabo el análisis de agua, sedimento y ostión por Botello (1990). Los resultados indicaron la presencia de bacterias del género *Vibrio*, y del grupo *Salmonella-Shigella*. Los ejemplares de ostión presentaron las mismas bacterias registradas en el agua (Tabla 6).

Rosas *et al.* (1985) efectuaron un estudio en cuatro centros ostrícolas: Tamiahua y El Conchal, en Veracruz, así como en Mecoacán y del Carmen en Tabasco (Figs. 2, 3 y 5). Encontraron que los niveles de CT y CF en el agua de la mayoría de los centros ostrícolas fueron más elevados que los máximos aceptables para el cultivo de ostión (70 CT/100 mL y 14 CF/100 mL). El único centro que presentó bajas concentraciones fue el de la laguna de Tamiahua. En las muestras se encontra-

ron dos especies enteropatógenas (*E. coli* y *Plesiomonas shigelloides*). En agua hubo crecimiento de *Salmonella sp.*, pero en ostión no. Las concentraciones de CT y CF en ostiones, fueron altas, observándose que el 50% presentaron de 0 a 10 CT/100 mL y el resto, por arriba de 10 CT/100mL. El 20% de las muestras de ostión presentó entre 10 y 230 CF/100 mL. Los niveles de coliformes en ostión guardaron relación directa con los del agua, de manera que en la laguna del Conchal, el agua está altamente contaminada, afectando en consecuencia la calidad bacteriológica del ostión cultivado en la laguna, razón por la que se presentaron concentraciones por arriba de 10 en CT y CF. Se observó que la mayoría de las lagunas costeras y estuarios donde se desarrolla el ostión no cumplen satisfactoriamente las normas de calidad de agua. La contaminación de origen doméstico induce la disminución en la calidad del agua y la acumulación de bacterias entéricas en el ostión. Estos reciben desechos fecales de las poblaciones circunvecinas. En ostión se registraron valores tan altos como 9,800 CT/ 100 mL y 370 CF/100 mL en la laguna del

Conchal. La laguna de Tamiahua presentó sus niveles por debajo de los límites máximos establecidos en la reglamentación entonces vigente (1985), los autores consideraron que posiblemente la salinidad de la laguna o el efecto de dilución fueron determinantes en esta situación (Tablas 6 y 7).

Por otra parte, Rodríguez (1986), evaluó el ostión *Crassostrea virginica* durante su procesamiento para comercialización. Dicho estudio incluyó análisis de agua y ostiones, antes y después del desconchado, así como de los bancos donde se colectaron los ostiones (Fig. 5). Los niveles de CT y CF se cuantificaron en el orden de millones para ostión y agua durante el desconchado y envasado, niveles que coincidieron con los de la Laguna del Carmen, frente al pueblo donde se procesó este producto. Los ostiones no desconchados, así como el agua de los bancos de ostión fueron uno o dos órdenes de magnitud menores que los anteriormente indicados. Por lo tanto, se consideró que los altos niveles presentados se debieron al mal manejo del producto (Tabla 7).

LITERATURA CITADA

- Barrera, E.G., 1995.** Contaminación exógena de origen fecal en la Laguna de Tamiahua, Veracruz y su influencia en tres especies de interés comercial. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). Univ. Nal. Autón. México, 60 p.
- Barrera, E.G., M.P. Martínez, P.G. Maciel, T. M. Vicencio, CH. E. Ducoing, y R.P. Ramírez, 1990.** Calidad sanitaria de los esteros La Laja y Cucharas de la laguna de Tamiahua, Ver., p. 86. *In: X Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala*, Univ. Nal. Autón. México.
- Barrera-Escorcía, G., I. Wong-Chang, A.S. Sobrino-Figueroa, X. Guzmán-García, F. Hernández-Galindo, y F. Saavedra-Villeda, 1998.** Estudio preliminar de contaminación bacteriológica en la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 14(2): 63-68.
- Barrera-Escorcía, G., I. Wong-Chang, A.S. Sobrino-Figueroa, X. Guzmán-García, F. Hernández-Galindo, y F. Saavedra-Villeda, 1999.** Evaluación microbiológica de la laguna de Tamiahua, Veracruz, en el ciclo 1994-1995. *Hidrobiológica*, 9(2): 125-134.
- Botello, A.V., y H.S. Rodríguez, 1982.** Niveles actuales de compuestos organoclorados, desechos industriales y coliformes en los sistemas lagunares costeros del estado Tabasco, p. 20-25. *In: Informe Final. Secretaría de Pesca del Estado de Tabasco. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Univ. Nal. Autón. México*, 59 p.
- Botello, A.V., 1990.** Impacto ambiental de los hidrocarburos organoclorados y de microorganismos patógenos específicos en lagunas costeras del Golfo de México. Informe Final OEA-Conacyt, Univ. Nal. Autón. México, 69 p.
- Centro de Ecodesarrollo-Secretaría de Pesca, 1988.** Atlas del Golfo y Caribe de México. Diagnóstico Ambiental. Centro de Ecodesarrollo. México. 123 p.
- Comisión Nacional de Ecología (CONADE), 1992.** Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1989-1990). CONADE, México, 260 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), 2003.** Ley Federal de Derechos Normas Aplicables en materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos inherentes 2003, Diario Oficial de la Federación, México. Enero 2: 173-191.

- Contreras, E.F., 1996.** Informe final del proyecto de investigación: Evaluación geoquímica ambiental y diagnóstico de la zona costera de Veracruz: lagunas de Tamiahua, Pueblo Viejo y Tampamachoco. Informe UAM-CONACyT clave 3232-T9308, México, 285 p.
- De la Lanza, E. G. y M.C. Cantú, 1986.** Cuantificación de clorofilas y aplicación del índice de diversidad de pigmentos (D430/D665) para estimar el estado biótico de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Universidad y Ciencia, 3: 31-42.
- 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., p. 661-674. *In: VIII Simposio Latinoamericano sobre Oceanografía Biológica.* Acapulco, Guerrero, México, 759 p.
- González, A.S., C.A. Ruiz, y S.J. Medina, 1988.** Análisis bacteriológico del ostión *Crassostrea virginica* muestreado en el estero de Tecolutla, Ver., p. 80. *In: XIX Congreso Nacional de Microbiología.* Asociación de Microbiología, Univ. Autón. N. L., México, 100 p.
- González, A.S., y C.A. Ruiz, 1989.** Análisis bacteriológico del ostión y sus bancos de extracción en el estero Tecolutla, Ver., para su evaluación sanitaria, p. 92. *In: IX Coloquio de Investigación, ENEP-Iztacala, Univ. Nal. Autón. México, 105 p.*
- Guzmán, G.X., 1995.** Evaluación de la calidad sanitaria del ostión *Crassostrea virginica* de la laguna de Tamiahua, Ver. Tesis Profesional (Biología), Univ. Nal. Autón. México, 55 p.
- Hernández, M.J., M. Ruiz, y G.J. Atzin, 1988.** Evaluación de *Salmonella* y *Shigella* en la cuenca baja del río Coatzacoalcos, p. 80. *In: XIX Congreso Nacional de Microbiología.* Asociación de Microbiología, Univ. Autón. N. L., México, 100 p.
- 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.*, 45(1): 122-126.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1981.** Atlas Nacional del Medio Físico. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 224 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1986.** Síntesis Geográfica de Tabasco. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 116 p.
- Maciel, P.G., M. Vicencio, P. Martínez, G. Barrera, E. Ducoing, y P. Ramírez, 1990.** Contaminación bacteriana de los esteros La Laja y Cucharas de la laguna de Tamiahua, Ver., p. 38. *In: VIII Congreso Nacional de Oceanografía.* Univ. Autón. Sin., México,
- Martínez, F.M., 1989.** Influencia de mareas en las poblaciones bacterianas (coliformes y estreptococos fecales) del estero Milpas en las tres estaciones climáticas características de la laguna de Tamiahua, Ver. Informe final de Servicio Social. 23.15.014.88, Univ. Autón. Metropolitana. México, 76 p.
- Pica, G.Y., 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 (Biología). Univ. Nal. Autón. México, 57p.
- Quiñónez-Ramírez, E.I., C. Vázquez-Salinas, F.F. Pedroche, L. Moreno-Sepúlveda, y O.R. Rodas-Súarez, 2000.** Presencia de los géneros *Vibrio* y *Salmonella*, y detección de coliformes fecales en almejas del Golfo de México. *Hidrobiológica*, 10(2): 131-138.
- Ramos, R.J.A., 1992.** Evaluación sanitaria por bacterias coliformes totales y fecales en el Sistema Lagunar de Alvarado. Ver. Tesis. Profesional (Biología). ENEP-Iztacala, Univ. Nal. Autón. México, 73 p.
- Rodríguez, 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.
- Rodríguez S.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.
- Rodríguez, S.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.*, 15(2): 105-110.
- Rodríguez, S.H., y J.J. Romero-Jarero, 1981.** Niveles de contaminación bacteriana en dos sistemas-fluvio lagunares asociados a la laguna de Términos, Campeche. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, 8(1): 63-68.
- Romero-Jarero, J., M.J. Ferrara-Guerrero, L. Lizárraga-Partida, y H. Rodríguez-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.
- Romero-Jarero, J. y S.H. Rodríguez, 1982.** Niveles actuales de contaminación con coliformes en el sistema lagunar del Carmen-Machona, Tabasco. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, 9(1): 121-126.

- Rosas, I., A. Yela, y A. Báez, 1985.** Bacterias indicadoras de contaminación fecal en ostión (*Crassostrea virginica*) durante su desarrollo y procesamiento en el mercado. *Contam. Amb.*, 1: 51-64.
- Ruiz, C.A., L.R. Chávez, y M.J. Montoya, 1990.** Detección prospectiva de contaminación fecal en la laguna de Alvarado, Ver., p. 90. *In: X Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala*, Univ. Nal. Autón. México,
- Sastre, R.L., 1990.** Evaluación de la calidad bacteriológica del agua de la laguna de las Ilusiones, Villahermosa, Tabasco, México. Tesis Profesional (Biología), Univ. Veracruzana, México, 141 p.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SE-DUE), 1989.** Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, México. *Gaceta Ecológica*, 1(1): 2-33.
- Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT), 1996.** Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, México. 29 de Junio de 1996.
- Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT), 1998a.** Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal. Diario Oficial de la Federación, México. Junio 3.
- Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT), 1998b.** Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación, México. Septiembre 21.
- Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT), 2003.** Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003. Que establece las especificaciones para la preservación, conservación y restauración de los humedales costeros. Diario Oficial de la Federación, México, Abril 10.
- Secretaría de Salud (SS), 1995.** Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993. Bienes y Servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. Diario Oficial de la Federación, México. Marzo 6, 22 p.
- Secretaría de Salud (SS), 1996.** Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-1995. Vigilancia y evaluación del control de la calidad del agua para uso y consumo humano distribuida por sistemas de abastecimiento público. Diario Oficial de la Federación, México. Septiembre 24, 22-29.
- Secretaría de Salud (SS), 1997.** Norma Oficial Mexicana NOM-129-SSA1-1995 Bienes y Servicios. Productos de la pesca: secos-salados, ahumados, moluscos, cefalópodos y gasterópodos frescos-refrigerados y congelados. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Diario oficial de la Federación, México.
- Toledo, A., A.V. Botello, M. Cházaro, M. Herzlg, L. Bozada, M. Páez, A. Báez, F. Contreras, y H. Rodríguez, 1988.** Energía, Medio Ambiente y Desarrollo. Vol. XV. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo. México. 382 p.

Wong Chang, I., y G. Barrera Escorcia, 2005. Contaminación en la Zona Costero-Marina: Implicaciones Ecológicas, p. 505-514. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Contaminación en la Zona Costero-Marina: Implicaciones Ecológicas

29

Irma Wong Chang¹ y Guadalupe Barrera Escorcia²

¹Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

²Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

RESUMEN

Los microorganismos son importantes en los ecosistemas acuáticos porque ayudan a mantener el equilibrio ecológico. En zonas costeras con descargas muy grandes o continuas se introducen sustancias nutritivas, microorganismos y otros contaminantes, los cuales son neutralizados por otros microorganismos nativos. Los aportes de aguas residuales, desechos industriales y contaminantes hacia la zona costera, causan alteraciones, aumentando el riesgo potencial de epidemias en poblaciones humanas y animales. El comportamiento de los microorganismos, su dispersión, sobrevivencia y desaparición, originan nuevos problemas que el hombre debe de enfrentar. Esto no sólo se relaciona con la salud, sino con cambios ecológicos, por lo que nuevos enfoques de investigación intentan redefinir esta forma de contaminación.

ABSTRACT

Microorganisms are important in the aquatic ecosystems because they help to maintain the ecological equilibrium. In coastal zones due to extensive or continuous discharges, nutritive substances, microorganisms and contaminants are introduced which can be neutralized by native microorganisms. The wastewater inputs, industrial residues and pollutants discharges toward the coastal zone produce alterations, increasing the potential risk for epidemics in human and animal populations. The man has to confront the new problems arisen by the microorganisms behavior, dispersion, survivor and disappearance. Those are related with health and with ecological changes too, thus new focus intent to redefine this form of contamination.

INTRODUCCIÓN

El aumento de especies no nativas o invasoras dentro de un ambiente establecido, frecuentemente ha generado resultados desastrosos a nivel ecológico. Algunas veces esto ha sido de manera intencional y otras accidental (Schmitz, 1995).

La presencia de microorganismos diferentes a los de la comunidad natural, en el agua de mar y estuarina, puede tener consecuencias diversas, que incluyen efectos en los ecosistemas acuáticos y convertirse en un problema a gran escala (Galindo, 1988; Elliot, 2003).

Los microorganismos son muy diversos y se distribuyen en todo tipo de hábitats, aún en los más hostiles. Muchos procesos microbiológicos son utilizados por el hombre en su beneficio. Por ejemplo: en el tratamiento del agua residual, se aprovecha la actividad metabólica

de los organismos presentes en el ambiente y en las descargas para mejorar su calidad (Campbell, 1987).

Sin embargo, en algunas ocasiones estos procesos actúan en detrimento del ambiente, debido a que se rebasa la capacidad autodepuradora natural.

En estos casos, aunque los efectos negativos en el ambiente y en la salud sean obvios, es difícil caracterizar a los microorganismos como contaminantes. Debido a que últimamente se han reconocido varios fenómenos como la migración de especies que se relacionan con el cambio climático global (Colwell y Huq, 1999), es necesario desarrollar nuevos enfoques en su análisis y generar definiciones adecuadas para enfrentar los nuevos problemas.

MICROORGANISMOS Y AUTODEPURACIÓN DEL AGUA

Los cuerpos de agua tienen cierta capacidad de autodepuración, que diversos autores atribuyen a una combinación de factores fisicoquímicos y biológicos. Esta consiste en la reducción de la materia orgánica mediante la oxidación y la mineralización de contaminantes orgánicos, llevadas a cabo por ciertas bacterias y hongos. Esta capacidad es mayor donde el agua tiene un movimiento enérgico, ya que provoca un activo intercambio de oxígeno entre el agua y la atmósfera, que favorece la descomposición de la materia orgánica (Rheinheimer, 1992).

Estas condiciones también existen en la mayoría de los ríos, arroyos y en las aguas costeras con pronunciados movimientos de mareas o fuertes corrientes inducidas por el viento. Sin embargo, cuando aumenta la concentración de materia orgánica por aportes de agua residual, se produce un denso crecimiento de bacterias anaerobias, ciliados y virus. En áreas donde hay poco movimiento, el agua residual se estanca y la escasez del oxígeno puede provocar un colapso en la autodepuración, debido al incremento en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) (Mitchell, 1972; Brock *et al.*, 1987; Campbell, 1987; Abel, 1996).

La autodepuración en el mar es más lenta que en las aguas continentales o interiores, requiriendo el doble de tiempo (Fig. 1). Esta depende de las condiciones presentes en el medio, así como de la composición y cantidad de los materiales a degradar. Si estos sobrepasan la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua que los recibe, lo cual, por desgracia es frecuente, los microorganismos no pueden degradar estos materiales, aún bajo las condiciones más favorables. (Rheinheimer, 1992).

En estuarios y lagunas costeras, la comunidad microbiana se compone de microorganismos de agua dulce y marinos, que incluyen bacterias, hongos, virus y levaduras. Dependiendo del tipo de agua, la composición de la flora bacteriana difiere mucho, en función de los parámetros fisicoquímicos, como el contenido de sales, materia orgánica, pH, turbidez, temperatura o la salinidad. La mayor parte de esta es heterotrófica, en parte saprófita (que se alimentan de material muerto), el número de parásitos es relativamente pequeño. Existen además bacterias foto y quimioautotróficas, que requieren únicamente nutrientes inorgánicos, estas incluyen a las fotosintéticas, a las

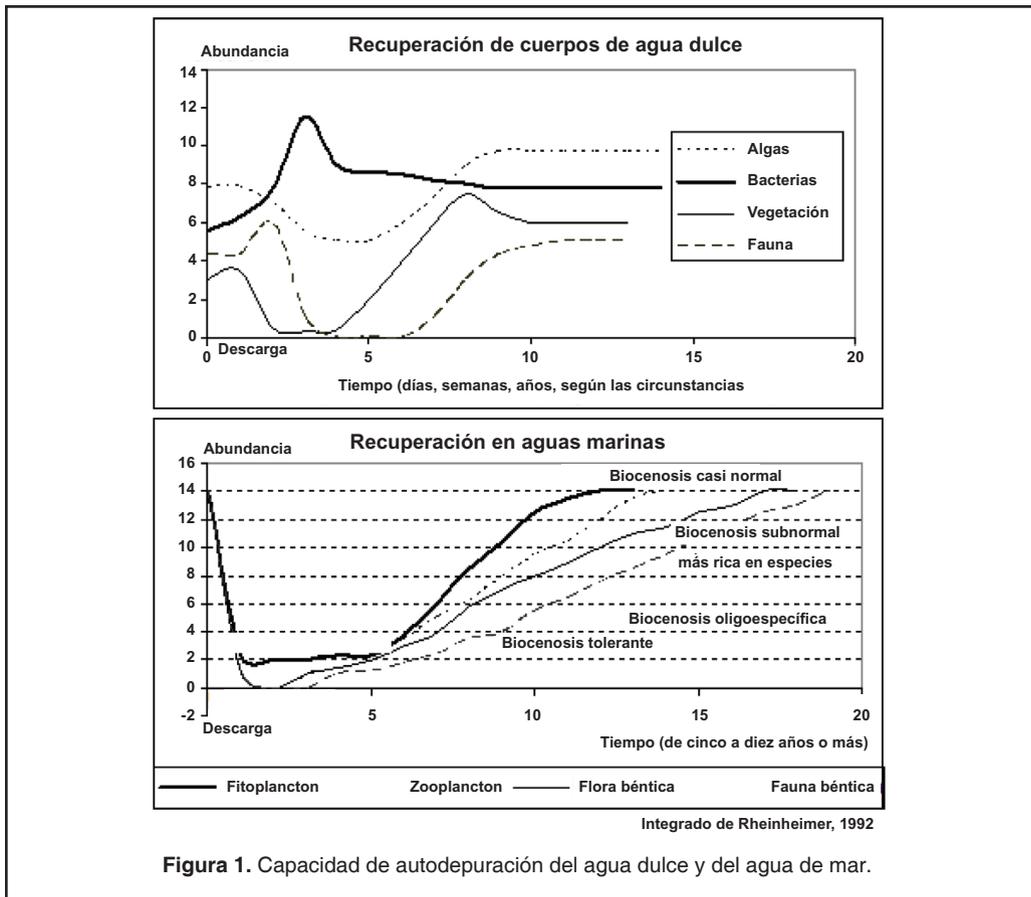


Figura 1. Capacidad de autodepuración del agua dulce y del agua de mar.

bacterias sulfatoreductoras, nitrificantes y del hierro. Predominan las gram-negativas (que no son teñidas con la tinción de Gram, importante característica taxonómica). Muchas de ellas son móviles e incluyen flagelos. Las bacterias verdaderamente acuáticas requieren de pequeñas cantidades de nutrientes, pero muchas de ellas crecen sobre un substrato sólido.

Las bacterias constituyen aproximadamente el 80% de la bio-superficie en el ecosistema marino y juegan un papel fundamental en la adsorción y transferencia de contaminantes a otros organismos como bivalvos, crustáceos y peces. Las funciones de las bacterias en los ambientes costeros son diversas. El resultado de todas sus actividades ayuda a mantener la homeostasis de los ecosistemas, de ahí, que la estructura y dinámica de las poblaciones ubicuas en el medio sea relevante. Se pueden encontrar miembros de la familia Bacillareaceae y otras familias como Micrococcaceae, Corynebacteriaceae y al género *Vibrio*. Ambientes ricos en materia orgánica

suelen incluir representantes de la familia Enterobacteriaceae. Cabe hacer notar que en ambientes ricos en nutrientes predominan las formadoras de esporas.

Las cianobacterias tienen una amplia distribución, aunque en aguas marinas no tienen un papel preponderante.

También existen los hongos en el medio marino, los cuales son heterótrofos y requieren de materia orgánica, por lo que hay saprofitos y parásitos. La presencia de levaduras es escasa.

No es común encontrar virus en el agua, ya que estos deben multiplicarse siempre dentro de células vivas (Rheinheimer, 1992).

El fitoplancton incluye algas, además de hongos y bacterias. El zooplancton se compone de protozoarios, copépodos y larvas de diversos organismos. En la productividad de los estuarios, las algas planctónicas no son tan impor-

tantes como las comunidades bentónicas, epífitas y litorales (Campbell, 1987). Cada cuerpo acuático tiene una microflora diferente y su composición repercute en la comunidad que depende de ella, como es el caso del zooplancton.

Cuando se presentan aportes de agua residual, desechos industriales y contaminantes, las alteraciones deben ser neutralizadas por los microorganismos de la flora nativa (Colwell, 1979; Galindo, 1988). Al mismo tiempo, aumenta el riesgo potencial de adquisición de enfermedades y epidemias en poblaciones humanas y animales por la introducción de microorganismos patógenos, así como por la modificación de las buenas condiciones del ecosistema. (Tabla 1).

La microflora del agua residual es particularmente rica en bacterias sin embargo, no es muy diversa. Muchas de ellas son proteolíticas, como *Pseudomonas aeruginosa*, *P. fluorescens*, *Proteus vulgaris*, *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Aerobacter cloacae* y *Zoogloea ramigera*. Suelen ser abundantes las degradadoras de azúcar, almidón, grasas, urea y celulosa. Desde luego es importante la presencia de bacterias coliformes, que incluyen a *Escherichia coli* y a *Aerobacter aerogenes*, así como los estreptococos, que incluyen a *Streptococcus faecalis*; estas bacterias son de origen fecal y saprófitas.

El vertimiento de agua residual a la zona costera genera un aumento de nutrientes y un crecimiento masivo de bacterias, hongos, virus, protozoarios y metazoarios que, entre otros efectos, ocasionan que la microflora natural sea inhibida, destruida o substituida por una microflora diferente.

En ambientes eutróficos, los hongos como *Sphaerotilus natans* son muy abundantes, llegan a formar micelas en aguas muy contaminadas y tienen un fuerte consumo de oxígeno, lo que puede disminuir dramáticamente los niveles de oxígeno disuelto en el agua.

Tabla 1. Comparación de microfloras contenidas en el agua.	
Microflora acuática	Microflora de aguas residuales
Virus escasos	Virus entéricos
Hongos escasos, esporas	Hongos de los géneros: <i>Candida</i> , <i>Cryptococcus</i> , <i>Rhodoturula</i> y <i>Saccharomyces</i>
Bacterias de las familias: <i>Micrococcaceae</i> , <i>Corynebacteriaceae</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Vibrio</i> y escasas levaduras.	Bacterias típicas: <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. cereus</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Aerobacter cloacae</i> , <i>Zoogloea ramigera</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Streptococcus faecalis</i> y bacterias patógenas.
Fito y zooplancton diverso con pocos protozoarios y abundantes formas larvales.	Fito y zooplancton no diverso, rico en ciliados y flagelados
Macro microbentos abundante	Macro y microbentos escaso o ausente
Integrado de Rheinheimer, 1992.	

La presencia de virus es frecuente cuando el agua está contaminada. Existen virus que atacan bacterias como *Pseudomonas* y cianobacterias. La presencia de virus en grandes cantidades se asocian a la posibilidad de que tengan un papel significativo a nivel ecológico en el control de las bacterias y otras formas planctónicas, así como por el intercambio genético entre bacterias acuáticas por transducción.

Las levaduras pueden encontrarse flotando en aguas de ríos y son comunes en el agua residual (Rheinheimer, 1992).

COMPORTAMIENTO EN EL AMBIENTE

El análisis de la contaminación microbiana es complejo cuando se intenta relacionar la

permanencia de los microorganismos con las características del ambiente.

En los lugares donde hay descargas de agua residual, la comunidad sufre una pérdida de la biodiversidad, que es más evidente en el bentos, desde el punto de vertimiento, recuperándose paulatinamente, hasta el establecimiento de las especies originales (Fig. 2). La distribución de especies depende de la constancia de los aportes y de las características del cuerpo receptor (Bellan, 1980). Al aumentar la cantidad de compuestos orgánicos, se incrementan los organismos saprobios, posteriormente los microorganismos anaerobios facultativos y los obligados se desarrollan a expensas de las formas aeróbicas. Según la cantidad de nitrato presente, los organismos reductores de nitrógeno y los desnitrificadores se multiplicarán. Si este desaparece, los microorganismos fermentadores y sulfatoreductores se desarrollarán. Además de estos últimos, las bacterias proteolíticas son las responsables de la producción de ácido sulfhídrico (principalmente especies de *Desulfovibrio*). Muchos organismos de la comunidad natural no soportan estas condiciones, sólo algunos, que son tolerantes. La presencia de estos, marca la última fase de pérdida de la población en aguas ausentes de oxígeno. Aunque esta condición se puede formar naturalmente, es decir, sin la intervención humana, normalmente son las actividades humanas las que generan estos cambios (Rheinheimer, 1992).

Anteriormente se tenía la idea de que los microorganismos procedentes del agua residual no podían sobrevivir en ambientes costeros, pero en la actualidad estos conceptos han cambiado.

En la evaluación de los microorganismos en el ambiente, se debe considerar su desaparición o permanencia (Gerba y McLeod, 1976). Los microorganismos se dispersan parcialmente como otras partículas, es decir, la distancia que alcanzan desde el punto de vertimiento, es inversamente proporcional al tamaño y peso del organismo. Ellos constituyen el 98.5% de las partículas consideradas "de peso ligero" que entran con el agua residual. Sin embargo, su desaparición se presenta más rápidamente que lo esperado. La sobrevivencia de los microorganismos introducidos en un ambiente acuático depende de su habilidad para tolerar un conjunto diferente de condiciones, físicas, químicas y fenómenos biológicos, tales como la competencia, la depredación o la simbiosis (Fig. 3), todos los cuales actúan simultáneamente eliminando muchos de los microorganismos antes de su depositación (Gauthier, 1980).

Numerosos virus patógenos pueden permanecer en el agua aún después de un tratamiento secundario convencional, como es la clora-

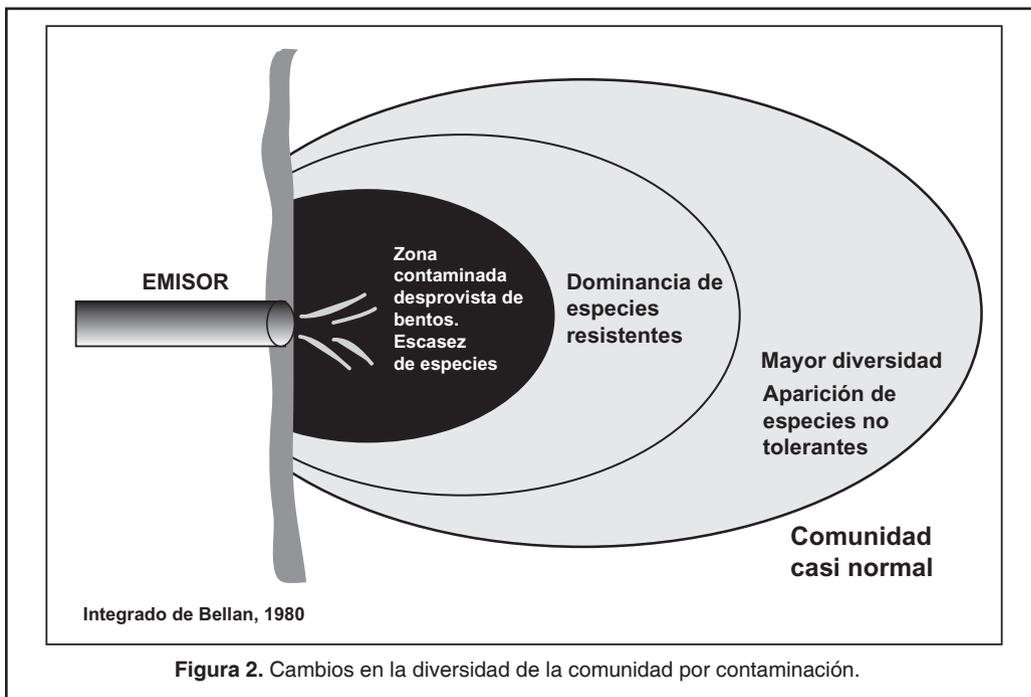
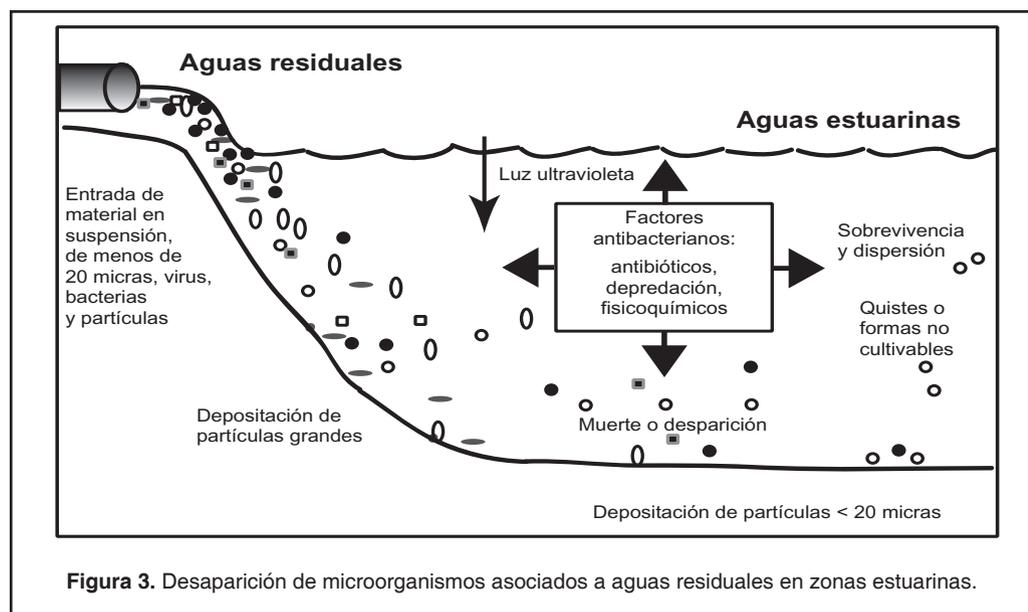


Figura 2. Cambios en la diversidad de la comunidad por contaminación.



ción y después ser descargados al ambiente marino a través de los ríos contaminados. En el agua de mar y en los sedimentos marinos, se han encontrado virus patógenos cuya sobrevivencia varía de días a semanas. Los virus son considerados como una amenaza para áreas de cultivo de peces, moluscos y crustáceos (Rheinheimer, 1992).

Cualquier virus excretado en las heces puede ser transmitido a través del agua, se calcula que las heces fecales pueden contener 10^3 - 10^7 enterovirus (Haas *et al.*, 1999). Su susceptibilidad en el agua varía ampliamente, por lo que es imposible estandarizar los métodos de tratamiento. Su dispersión puede ser un problema serio en algunas zonas. Durante los meses de verano pueden encontrarse en áreas de natación y en alimentos, provocando epidemias, ya que pueden conservarse hasta por 30 días en ostión a 5°C. Los ostiones y las almejas por ser organismos filtradores, pueden ser medios excelentes de bioacumulación de virus, cuando son cultivados en ambientes contaminados y vendidos ilegalmente, forma en la cual, el público comúnmente se ve amenazado (Schmitz, 1995). Los poliovirus, coxsakievirus y echovirus duran hasta 9 semanas a 40°C o de 20 días hasta meses a temperatura ambiente. Además de la temperatura, la inactivación biológica depende el tipo de virus, la salinidad, el nivel de contaminación, la segregación viral, la composición química del agua de mar, la radiación so-

lar y el tipo de sedimentos, que parecen ser un reservorio adecuado para ellos (Bitton, 1978). Los factores que influyen en la permanencia viral y bacterial son semejantes, aunque en general, los virus permanecen más tiempo en el agua, cuando ésta contiene una población microbiana baja (Laws, 1981). Los virus plantean problemas particularmente difíciles para su detección por su tamaño y porque requieren de técnicas especializadas.

En ambientes estuarinos, una bacteria sobrevive por períodos más largos, principalmente debido a que la luz ultravioleta es parcialmente absorbida por el material particulado de las aguas turbias. La desaparición de las bacterias es proporcional a la dispersión. Cuando ésta es mayor, implica también una mayor capacidad de autodepuración en el agua de mar (Aubert *et al.*, 1969). Por lo tanto, el nivel de bacterias no sólo depende del aporte, sino de las características del sitio en el que se hace el vertimiento.

Colwell *et al.* (1985), demostraron que el destino de las bacterias patógenas en el mar, no difiere fundamentalmente del de las bacterias autóctonas marinas situadas en condiciones de escasez alimentaria, que usualmente pasan a un estado de "letargo" caracterizado por una profunda modificación estructural y metabólica, con disminución del tamaño, de los intercambios con el medio, detención de la síntesis de

macromoléculas y descenso de las reservas de energía. Estas bacterias no crecen con facilidad en medios de cultivo, por lo que suelen ser subestimadas. Nuevas técnicas de detección de células vivas mediante epifluorescencia, permiten verificar en el laboratorio y en el medio marino, que numerosas bacterias patógenas alcanzan el estado de "letargo", considerándolas como formas viables pero no cultivables (Formas VNC). Esta situación es un proceso adaptativo. Las bacterias pueden recuperar su virulencia después de un largo tiempo de letargo, y se ha demostrado que son capaces de transmitir la enfermedad si se les introduce en organismos. Este fenómeno parece ser común en bacterias contenidas en el agua, como es el caso de *Salmonella*, *Shigella*, *Legionella* y *E. coli* (Colwell y Huq, 1999).

Es frecuente que exista una mayor concentración de bacterias en el sedimento con respecto al agua (Brettar y Höfle, 1992; Davies *et al.*, 1995; Fish y Pettibone, 1995). Las células bacterianas se adhieren al material particulado, del cual obtienen resguardo contra la depredación y las condiciones ambientales adversas, a la vez que les proporciona una fuente alimenticia que les permite sobrevivir por largos períodos, e incluso, en algunos casos favorece su multiplicación (Marino y Gannon, 1991).

Las acciones de dragado pueden resuspender a los patógenos a la columna de agua (Galindo, 1988). Se han aislado bacterias terrestres de sedimentos por debajo de los 1,000 m de profundidad. La distribución de aguas residuales en aguas oceánicas puede resultar en una dispersión de microorganismos en sedimentos hasta los 3,000 m. A estas profundidades, la influencia de los factores que eliminan bacterias en aguas someras es posiblemente menor y la constante descarga de aguas residuales, podría resultar en la acumulación de microorganismos y materia orgánica con efectos hacia la fauna a largo plazo. En áreas de surgencias, pueden reciclarse microorganismos entéricos potencialmente peligrosos hacia aguas superficiales de alta productividad (Baross *et al.*, 1975).

Un número de diferentes especies de protozoarios, hongos y helmintos, representantes de varios Phyla que son parásitos de huma-

nos, también pueden tener importancia, ya que tienen ciclos de vida que involucran al sistema acuático (Schmitz, 1995). Su análisis, sin embargo, requiere de un trabajo taxonómico especializado y en algunos casos es difícil hacer conteos de individuos, como es el caso de los hongos, por el desarrollo de hifas.

Por otro lado, organismos que tradicionalmente se consideran patógenos de especies animales como es el caso de *Vibrio vulnificus*, patógeno de moluscos (Tamplin y Capers, 1992), ocasionalmente pueden infectar al hombre con resultados fatales (Castañón *et al.*, 2000).

Por lo anterior, resulta imposible identificar a todos los agentes infecciosos presentes en una muestra. Cuando se hace la determinación de la calidad del agua, esta se define de acuerdo al uso para el cual se destine. Se consideran ciertos requerimientos físicos, químicos y biológicos (Tabla 2). Las propiedades físicas y químicas pueden ser obvias, caracterizadas de manera organoléptica (color, olor, sabor); o bien en forma cuantitativa, como los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, conductividad, cloruros, sulfatos, oxígeno disuelto, dureza, salinidad). En ciertos parámetros es indeseable que se superen ciertos niveles, por encima de los cuales se consideran contaminantes (estos incluyen nitritos, nitratos, amonio, Fe, Mn, Zn). Otros, son de origen exógeno y pueden actuar como nutrientes, por lo menos parcialmente, como es el caso de los detergentes y la materia orgánica proveniente de residuos alimenticios, de la madera y otros (Campbell, 1987). También existe una amplia gama de tóxicos que determinan la calidad del agua, Sin embargo, en su evaluación sólo se incluye una parte de ellos.

Los parámetros que determinan la calidad sanitaria, incluyen a los grupos de bacterias coliformes y estreptococos fecales, que sirven como indicadores, además de la presencia de bacterias patógenas (Haas *et al.*, 1999); involucra el contacto primario con el ser humano, como el agua de balnearios, o por ingestión. Los parámetros anteriormente mencionados realmente no representan el total de la contaminación microbiológica, aunque en México las normas sólo exigen el monitoreo de bacterias coliformes.

Tabla 2. Algunos requerimientos asociados a la calidad del agua.

Uso	Características Biológicas	Características Fisiológicas
Navegación	-	Libre de materiales flotantes
Generación de energía	-	Límite en sólidos suspendidos
Paisaje	Límite en algas	Ambiente aeróbico (oxígeno mínimo), transparencia (turbidez máxima), límites en grasas y aceites
Pesca	Mantenimiento sustentable de algas, invertebrados bentónicos, peces	Similar al anterior, más límites en toxinas, nutrientes y temperatura
Recreativo	Límite en contaminación fecal (estándares bacterianos)	Semejante al anterior, libre de toxinas
Irrigación	Límite en contaminación fecal (estándares bacterianos)	Libre de toxinas, límites en salinidad
Agua tratada (doméstica e industrial)	Límite en contaminación fecal (estándares bacterianos)	Libre de toxinas, límites en sustancias que generan olor, color y turbidez

Integrado de Sládecek, 1979

Actualmente, otros organismos no descritos como parásitos humanos están siendo estudiados, como por ejemplo el género *Pfiesteria spp.* que es un dinoflagelado encontrado en aguas estuarinas. Una de las especies es *P. piscicida* (de vida libre), que produce una toxina que potencialmente afecta a la salud de los peces, así como a la de los humanos. Se ha observado el aumento de zoosporas en zonas eutróficas, asociándose al incremento de fósforo que se produce como consecuencia de los aportes de aguas residuales (Haas *et al.*, 1999).

Además, en los últimos 10 años, se han reconocido agentes de enfermedades infecciosas emergentes. Estas han sido definidas así porque su incidencia ha aumentado (Moe, 1997), o bien porque antes no se habían reconocido como patógenos humanos (Haas *et al.*, 1999). Estos agentes se han relacionado con brotes de enfermedades asociadas al agua. Las actividades humanas conducen a la emergencia de la enfermedad y una gran variedad de factores sociales, económicos, políticos, climáticos, tecnológicos y ambientales, pueden modelar el patrón de incidencia (Colwell y Huq, 1999). Por lo anterior, puede observarse que se ha modificado el panorama del riesgo para la salud humana y para el ecosistema (Hass *et al.*, 1999).

Es evidente que la definición de contaminación biológica no puede plantearse de manera

sencilla. El concepto de contaminante implica la habilidad de reducir las condiciones adecuadas para la sobrevivencia de algún nivel de organización biológica (desde células hasta ecosistemas). Tomando en cuenta esta definición, entonces es necesario determinar hasta donde esa reducción puede ser demostrada e incluir una amplia gama de organismos que pueden ser considerados como contaminantes. De hecho, la incorporación de estos en otros organismos ¿es bioacumulación? o ¿biomagnificación? Existen grandes problemas al asociar términos como contaminación aguda o biomagnificación, en el caso de la contaminación biológica (Elliot, 2003).

Varios fenómenos relativamente nuevos han sido reconocidos como eventos importantes, como lo es la migración de especies de latitudes tropicales a templadas. Este tipo de eventos modifica el balance de los ecosistemas. La presencia de estas especies tendrá repercusiones ecológicas, ya que no se crean nichos nuevos. ¿Hasta donde estas especies podrían llamarse contaminantes? (Elliot, 2003).

La última pandemia de cólera podría ejemplificar la relación íntima entre el ambiente y los microorganismos. Se ha planteado la hipótesis de que los cambios en el clima, que derivan en las modificaciones de la temperatura superficial del agua en los océanos, han favorecido la so-

brevivencia de *Vibrio cholerae*, y las corrientes oceánicas como la del Niño, han llevado a cabo el transporte de estos organismos a sitios lejanos. Hasta ahora, se ha demostrado una co-

relación entre la alta temperatura superficial y el nivel del agua del océano, con la dispersión de la epidemia, que se ha intentado modelar (Colwell y Huq, 1999).

LITERATURA CITADA

- Abel, P.D., 1996.** Water Pollution Biology. Tony & Francis. U.K. 286 p.
- Aubert, M., P. Koch, y J. Garancher, 1969.** The diffusion of bacterial pollution in the sea, p. 793-809. *In:* S.H. Jenkins (Ed.) Advances in Water Pollution Research. Pergamon Press. G.B. 946 p.
- Baross, J.A., F.J. Hanus, y R.Y. Morita, 1975.** Survival of human enteric and other sewage microorganisms under simulated deep-sea conditions. *Appl. Microbiol.*, 30(2): 309-318.
- Bellan, G., 1980.** Acción de los factores de polución sobre las comunidades bentónicas, p.152-160. *In:* J. M. Pérès (Ed.) La Polución de las Aguas Marinas. Ed. Omega. España. 247 p.
- Bitton, G., 1978.** Survival of enteric viruses, p. 273-299. *In:* R. Mitchell (Ed.) Water Pollution Microbiology. Vol. 2, J. Wiley & Sons. N.Y. 433 p.
- Brettar, I. y M.G. Höfle, 1992.** Influence of ecosystemic factors on survival of *Escherichia coli* after large-scale release into lake water mesocosms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 58(7): 2201-2210.
- Brock, T.D., D.W. Smith y M.T. Madigan, 1987.** Microbiología. 4a. Ed. Prentice Hall. México. 906 p.
- Campbell, R., 1987.** Ecología Microbiana. Limusa. México. 268 p.
- Castañón, G.J.A., L.L. Martínez, R.R. Miranda, R.E. Torres, y G.M.A. León, 2000.** *Vibrio vulnificus* infection in México: Report of a fatal case. *Rev. Med. IMSS*, 38(1): 23- 25.
- Colwell, R.R., 1979.** Human pathogens in the aquatic environment, p. 337-342. *In:* R.R. Colwell and J. Foster (Eds.) Aquatic Microbial Ecology. Proc. of the ASM Conference. Clear Water Beach, Florida. A Maryland Sea Grant Pub. U.S. 460 p.
- Colwell, R.R., P. R. Brayton, O.J. Grimes, D.R. Rosak, S.A. Huq, y L.M. Palmer, 1985.** Viable but non-cultivable *Vibrio cholerae* and related pathogens in the environment: Implications for release of genetically engineered microorganisms. *Biotechnology*, 3:817- 820.
- Colwell, R.R., y A. Huq, 1999.** Global microbial ecology: biogeography and diversity of *Vibrios* as a model, p. 134S-137S. *In:* D.E.S. Steward-Tull. P.J. Dennis and A.F. Godfree (Eds.) *Aquatic Microbiology. J. Appl. Microbiol. Symp. Suppl.* 85: 171S.
- Davies, Ch. M., J.A.H. Long, M. Donald, y N.J. Ashbolt, 1995.** Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. *Appl. Environ. Microbiol.*, 61(5):1888-1896.
- Elliot, M., 2003.** Biological pollutants and biological pollution an increasing cause of concern. *Marine Pollut. Bull.*, 46: 275- 280.
- Fish, J.T., y G.W. Pettibone, 1995.** Influence of freshwater sediments on the survival of *Escherichia coli* and *Salmonella sp.* as measured by three methods of enumeration. *Letters Appl. Microbiol.*, 20: 277-281.
- Galindo, R.J.G., 1988.** Contaminación en los ecosistemas costeros. Un enfoque ecológico. Cuadernos Docentes. Coordinación General de Investigación y Posgrado. Univ. Autón. Sin., México, 58 p.
- Gerbach, P., y J.S. McLeod, 1976.** Effect of sediments on the survival of *Escherichia coli* in marine waters. *Appl. Environ. Microbiol.*, 32(1): 114-120
- Gauthier, J.M., 1980.** Poluciones bacterianas en el medio marino, p. 127-141. *In:* J.M. Pérès (Ed.) La Polución de las Aguas Marinas, Ed. Omega. España. 247 p.
- Haas, Ch.N., J. B. Rose., y Ch. P. Gerba, 1999.** Quantitative Microbial Risk Assessment. J. Wiley & Sons. N. Y. 449 p.
- James, A., 1979.** The value of biological indicators in relation to other parameters of water quality, p. 1-16. *In:* A. James, and L. Evison (Eds.) Biological Indicators of Water Quality. J. Wiley and Sons. G.B. 528 p.
- Laws, E.A., 1981.** Aquatic Pollution. J. Wiley & Sons. N.Y. 417 p.
- Marino, R.P., y J.J. Gannon, 1991.** Survival of fecal coliform and fecal streptococci in storm drain sediment. *Water Research*, 25(9):1089- 1098.

Mitchell, R., 1972. Water Pollution Microbiology. J. Wiley & Sons. N.Y. 417 p.

Moe, Ch.L., 1997. Waterborne transmission of infectious agents, p. 136-152. *In:* Ch. J. Hurst, G.R. Knudsen, M.J. McInerney, L.D. Stetzelbach, and M.V. Walter (Eds.) Manual of Environmental Microbiology. ASM Press. Washington, D.C. 894 p.

Rheinheimer, G., 1992. Aquatic Microbiology. J. Wiley & Sons. N.Y. 363 p

Schmitz, R.J., 1995. Introduction to Water Pollution Biology. Gulf Publishing, Co. Huston, TX. 320 p.

Sládeček, V., 1979. Continental systems for the assessment for river water quality, p. 3-1 – 3-32. *In:* A. James, and L. Evison (Ed.) Biological Indicators of Water Quality. J. Wiley & Sons. G.B. 528 p.

Tamplin, M.L., y G.M. Capers, 1992. Persistence of *Vibrio vulnificus* in tissues of gulf coast oysters, *Crassostrea virginica*, exposed to seawater disinfected with UV light. *Appl. Environ. Microbiol.*, 58(5):1506- 1510.

Barrera Escorcía, G., e I. Wong Chang, 2005. Diagnóstico de la Contaminación Microbiológica en el Golfo de México, p. 515-524. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Diagnóstico de la Contaminación Microbiológica en el Golfo de México

30

Guadalupe Barrera Escorcía¹ e Irma Wong Chang²

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

² Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

RESUMEN

Los constantes vertimientos de aguas no tratadas en el Golfo de México implican un claro riesgo para los ecosistemas acuáticos receptores, cuya capacidad de autodepuración es limitada. La contaminación microbiológica puede estar subestimada, los microorganismos sometidos a estrés en zonas costeras pueden derivar en formas adaptativas que no permiten su manifestación con las técnicas convencionales. Los estudios coincidieron en aceptar que existe contaminación microbiológica en el Golfo de México, a pesar de no utilizar las mismas técnicas. Las investigaciones se realizaron a nivel de grupo bacteriano, algunas identificaron patógenos; casi todas analizaron agua, un menor número sedimentos y ostión. Escasos trabajos analizaron tomas de agua potable u otros organismos. Otros indicadores podrían ser útiles en el diagnóstico ambiental. Deben tratarse las aguas residuales, lo cual es costoso y difícilmente accesible a muchas poblaciones. Se requieren programas educativos verdaderamente eficientes, que permitan manejar los desechos y tener acceso a servicios de salud a las zonas rurales. Los múltiples asentamientos costeros y las ciudades son la fuente principal de esta forma de contaminación. La legislación nacional enfocada a la protección sanitaria ha mejorado, pero la política vigente influye en la salud de las poblaciones.

ABSTRACT

Constant effluents of untreated water into the Gulf of Mexico, clearly involve a risk to the receiving aquatic ecosystems, whose autodepuration capacity is limited. Microbiological pollution could be underestimated, in coastal zone, the microorganisms subjected to stress could adopt forms that not permit their manifestation with conventional techniques. In spite of the different techniques used, the studies coincided in accepting that the Gulf of Mexico show microbiological pollution. These researches were done at bacteria group level, some identified pathogens, almost all analyzed water, few of them sediments or oysters. Scarce studies analyzed drinking water or other organisms. Other indicators could be useful for environmental diagnosis. Wastewater must be treated, but it is expensive and it is hardly accessible to many populations. Efficient educational programs are truly required, that they allow the management of wastewater and the access to healths services to people in rural zones. Coastal cities are the main sources of this kind of pollution. The national legislation focused to sanitary protection of water and organisms has been improved, but the standing policy influences population health.

INTRODUCCIÓN

En las costas del Golfo de México se encuentran importantes ciudades, como Tampico, Tuxpan, Veracruz, Coatzacoalcos, el Carmen y Campeche. Las cuales, junto con otras ciudades de menor importancia, vierten grandes cantidades de aguas residuales sin tratamiento a la zona costera. En estas aguas residuales se han llegado a registrar hasta 2×10^{18} coliformes/100mL (Rodríguez y Romero-Jarero, 1981). Existen también numerosos asentamientos humanos de menor tamaño ubicados a lo largo de la costa del golfo y los esteros que desembocan en este, la mayor parte de los cuales no cuenta con sistemas de drenaje y descargan sus aportes directamente en los cuerpos de agua.

Aunque existen considerables evidencias que sugieren la corta viabilidad de la mayoría de los patógenos entéricos fuera del tracto digestivo, la influencia de los factores en el medio marino es muy variada y compleja. Los microorganismos presentan un comportamiento en el ambiente difícil de interpretar. Por ejemplo, *E. coli* en aguas marinas desaparece rápidamente por influencia de temperatura, luz ultravioleta (Flint, 1987), sedimentación (Gerba y McLeod, 1976), macrodepredadores (copépodos, protozoarios), microdepredadores (bacteriófagos), y por acción antibiótica del plancton marino, corales, moluscos, esponjas, y algas (Aubert *et al.*, 1969; Gauthier, 1980). Algunas algas planctónicas pueden ser un agente antiestafilococal del agua de mar (Duff *et al.*, 1966). También influyen otros factores como el pH, niveles bajos de materia orgánica, así como la falta de nitrógeno, fósforo e hierro. *E. coli* introducida en un ambiente acuático sufre un estrés subletal dentro de la primera semana, lo que afecta su conteo ya que es incubado en un medio selectivo, donde su crecimiento es difícil (Flint, 1987). Esto ha conducido a errores de interpretación. Laws (1981) propone que la desaparición de *E. coli* se debe a que puede presentarse en estado no cultivable más que a su muerte y que puede dividirse en aguas tibias fuertemente contaminadas con altas concentraciones de nutrientes. Tal multiplicación es indeseable si se le considera indicador de la posible presencia de patógenos, ya que su reproducción en áreas distantes a las fuentes de contamina-

ción, puede llevar a interpretaciones erróneas. Además, recientemente se ha demostrado que bacterias utilizadas como indicadores, como es el caso de los estreptococos, pueden reproducirse en el suelo y encontrarse en arroyos sin aportes de material fecal en algunos ambientes tropicales (Fujioka *et al.*, 1999).

La sobrevivencia de las bacterias provenientes de aguas residuales, puede haber sido subestimada en el pasado, los conteos se hacen en agua sin considerar que estas puedan encontrarse en el sedimento y por lo general, no se plantea la posibilidad de que las bacterias permanezcan viables a cierta profundidad. A este respecto, la sobrevivencia de cultivos puros de bacterias bajo condiciones simuladas de aguas marinas profundas quedó demostrada por Barros *et al.* (1975), quienes determinaron mayor viabilidad de *E. coli* respecto a *Streptococcus faecalis* (sometidas a 250 y 500 atm), y la insensibilidad de *S. faecalis* a elevadas presiones (1000 atm). *Clostridium perfringens* y *Vibrio parahaemolyticus* parecen ser afectados a presión de 500 atm hasta después de 200 horas. Las bacterias coliformes fecales de aguas residuales expuestas a presiones moderadas, mostraron patrones de sobrevivencia semejantes a los de cultivos puros de *E. coli*.

La autopurificación que se presenta en estuarios implica la disminución de bacterias coliformes y esta depende del tiempo de su permanencia en el agua. Aunque es muy variable, se requiere de 20 días aproximadamente, para que el agua de los ríos fluya dentro de un área costera, durante este periodo, la mortalidad bacteriana es muy importante (Vaccaro *et al.*, 1950). Munro *et al.* (1987) sugieren que *E. coli* sobrevive o crece en agua de mar enriquecida con materia orgánica proveniente de descargas y que puede adaptarse parcialmente, a varias condiciones marinas. Si *E. coli* puede crecer en materia orgánica, puede también sufrir cambios estructurales y en las propiedades que se involucran con la expresión de su patogenicidad. Tales alteraciones celulares facilitan la sobrevivencia de éste y otros microorganismos, lo que mejora su capacidad de adaptación a ambientes desfavorables. Cada especie

posee características adaptativas particulares, por ejemplo, los colifagos son menos afectados que las bacterias por los factores fisicoquímicos. Los estreptococos fecales son modificados por la temperatura en forma inversa a los coliformes (Borrego *et al.*, 1983). Los estreptococos hemolíticos pierden rápidamente su virulencia en el medio, por lo que no se han considerado relevantes en la epidemiología de las infecciones estreptocócicas (Dart y Stretton, 1977). Todo lo anterior implica la necesidad de considerar evaluaciones simultáneas de agua, sedimento, organismos y tomas de agua potable, así como definir los factores involucrados en la desaparición o permanencia de los microorganismos en las zonas costeras.

Además del análisis en agua y sedimento, es necesario monitorear la calidad sanitaria de organismos acuáticos comestibles, sobre todo aquellos que frecuentemente se consumen crudos. Estos son transmisores potenciales de enfermedades, incluyen moluscos bivalvos como los ostiones, almejas y mejillones, así como otros miembros del grupo que tienen menos demanda. Todas estas especies son filtradoras y se encuentran, generalmente, en aguas estuarinas y costeras sujetas a contaminación por aguas residuales, situación común en diversos cuerpos costeros del Golfo de México.

Debido a que los filtradores no tienen un mecanismo discriminatorio de alimentación, son vulnerables a la acumulación de bacterias fecales. El contenido bacteriano en estos organismos fluctúa rápidamente con la calidad del agua, en forma inmediata si se presentan condiciones óptimas de temperatura, lo cual implica que son capaces de desechar cualquier bacteria acumulada cuando las condiciones mejoran. También los virus pueden ser retenidos por los organismos filtradores durante largos períodos de tiempo. Sin embargo, las bacterias y los virus, no tienen una relación directa que permita asociar sus concentraciones. Particularmente en invierno, la evaluación de bacterias indicadoras de contaminación no es satisfactoria para caracterizar la incidencia de virus (Wood, 1979).

Las investigaciones realizadas sobre contaminación microbiológica en el Golfo de México, se han desarrollado principalmente en los esta-

dos de Veracruz, Tabasco y Campeche. Estos trabajos incluyeron únicamente análisis bacteriológicos; no existen evaluaciones sobre virus, hongos y protozoarios. A este respecto, es necesario destacar la necesidad de incluir estudios de estos grupos en la determinación de la calidad del agua del Golfo de México, debido a que su presencia también representa riesgos para la salud pública.

En la tabla 1 se presenta la recopilación de dichos estudios, el 56% de ellos se realizó en el estado de Veracruz, el 12% en la zona limítrofe entre Veracruz y Tabasco o en localidades de ambos estados, el 16% se llevó a cabo sólo en el estado de Tabasco y la misma proporción en Campeche.

El 64% de las investigaciones analizó las muestras a nivel del grupo indicador, coliformes totales, coliformes fecales, o estreptococos fecales. El 24% de los trabajos abordaron la identificación de especies, además del grupo indicador. El 12% analizó exclusivamente organismos patógenos.

En una sólo referencia se identificó *Vibrio cholerae* serotipo O1, esta se realizó en almeja, sin embargo la localidad de colecta sólo se indicó como el "norte de Veracruz". Otra investigación que identificó patógenos en ostión tampoco incluyó análisis en agua. En los estudios restantes (92%), se evaluaron bacterias en agua. De estos trabajos, el 13% colectó muestras provenientes de redes de distribución de agua potable o fuentes de abastecimiento para consumo humano, el 28% incluyen muestreos simultáneos agua-sedimento, 16% muestreos agua-ostión y 22% analizaron agua, sedimento y ostión de bancos ostrícolas. Uno de estos últimos incluyó el análisis en lisa y jaiba.

De los trabajos que identificaron las bacterias, tres llevaron a cabo el conteo además de la identificación y dos indicaron el porcentaje de muestras en que aislaron las especies.

Los trabajos realizados en el Golfo de México no presentaron los mismos enfoques y estrategias, los investigadores realizaron sus estudios en forma totalmente independiente. A pesar de esto, los resultados presentaron valores máximos de contenidos semejantes, los cuales fluc-

Tabla 1. Estudios realizados sobre contaminación microbiológica en el Golfo de México.										
Referencia	Estado	Identificación				Sustrato				Año de colecta
		Hasta grupo indicador	y conteo	Muestras con presencia (%)	Hasta género ó especie	Agua	Sed.	Org.	Tomas de agua potable	
Fariás y Camargo, 1981	Veracruz	X				X				1981
Hernández <i>et al.</i> , 1988	Veracruz		X		X	X				1987
Toledo <i>et al.</i> , 1988	Veracruz	X			X	X			X	1987
González <i>et al.</i> , 1988	Veracruz	X			X			X		1988
González y Ruiz, 1989	Veracruz				X	X		X		1987
Martínez, 1989	Veracruz	X				X	X			1988-1989
Maciel <i>et al.</i> , 1990	Veracruz	X				X	X		X	1989-1990
Ruiz <i>et al.</i> , 1990	Veracruz	X				X				1990-1991
Ramos, 1992	Veracruz	X				X				
Guzmán, 1995	Veracruz	X				X		X		1990
Barrera, 1995	Veracruz	X				X	X	X*		1987-1988
Barrera <i>et al.</i> , 1998	Veracruz	X				X	X	X		1994-1995
Barrera <i>et al.</i> , 1999	Veracruz	X				X	X	X		1994-1995
Quiñónez-Ramírez <i>et al.</i> , 2000	Veracruz	X		X	X			X**		1998
Rosas <i>et al.</i> , 1985	Veracruz Tabasco	X		X	X			X		1985
Rodríguez y Botello, 1987	Veracruz Tabasco	X	X		X	X	X		X	1982-1986
Botello, 1990	Veracruz Tabasco			X	X	X	X	X		1989-1990
Romero-Jarero y Rodríguez, 1982	Tabasco	X				X				1979-1980
Botello y Rodríguez, 1982	Tabasco	X	X		X	X	X			1980-1981
Rodríguez, 1986	Tabasco	X				X		X		
Sastre, 1990	Tabasco	X				X				1986
Rodríguez y Romero-Jarero, 1981	Campeche	X				X				1978
Romero-Jarero <i>et al.</i> , 1986	Campeche	X				X	X			1981-1982
Pica, 1988	Campeche	X				X	X	X		1985-1986
Rodríguez y Botello, 1988	Campeche	X				X	X			1985-1986

Sed.= Sedimentos; Org.=Organismos
Organismos implica análisis en ostión, excepto: X*= Almeja y X**= lisa (*Mugil cephalus*) y jaiba (*Callinectes sapidus*)

tuvieron entre 10^2 y 10^5 NMP/100 mL en agua y hasta 10^6 en sedimento.

En los resultados de estas investigaciones, frecuentemente se rebasaron los niveles permisibles en la legislación mexicana, situación que demuestra la necesidad de un manejo adecuado de las aguas residuales que descargan en las costas del Golfo de México.

El análisis gráfico (Fig. 1), indica que en la región de Coatzacoalcos se presentaron los valores de coliformes más elevados en agua, mientras que en sedimento (Fig. 2) los niveles más altos se registraron en la zona norte de Veracruz, (lagunas de Pueblo Viejo y Tamiahua) y en las lagunas costeras de Tabasco. En este estado se registraron también las concentraciones máximas de coliformes en ostión (Fig. 3), así como la cuantificación de patógenos en estos organismos (Fig. 4). También se realizó en este estado el análisis cuantitativo de patógenos en sedimento. En las referencias consulta-

das no se encontraron datos relativos a coliformes fecales en agua y sedimento en la región del centro de Veracruz. Sólo hay investigaciones sobre estreptococos fecales en el norte de Veracruz. Los Números Más Probables (NMP) presentados en este análisis gráfico incluyeron únicamente los registros más elevados. La comparación de estos debe hacerse con reservas debido a que los valores máximos obtenidos se relacionan con las diluciones llevadas a cabo en cada trabajo. Por otro lado, las técnicas estandarizadas de cuantificación, ya sea por NMP, o por Unidades Formadoras de Colonias (UFC), no dan resultados precisos del número de bacterias. Esto debe considerarse al enfrentarse con el análisis de los resultados de este tipo de investigación, ya que los microorganismos deben ser evaluados vivos y con capacidad de reproducción (APHA, 1995), no es posible evaluarlos de otra manera utilizando las técnicas aceptadas en la normatividad mexicana. La reproducción puede verse afectada por múltiples factores relacionados con la

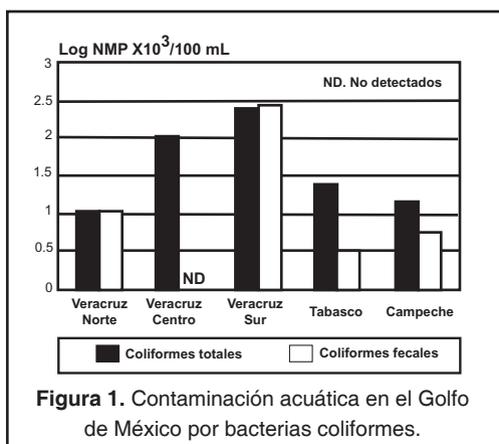


Figura 1. Contaminación acuática en el Golfo de México por bacterias coliformes.

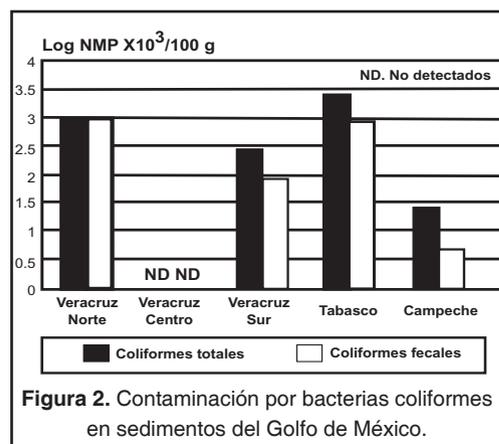


Figura 2. Contaminación por bacterias coliformes en sedimentos del Golfo de México.

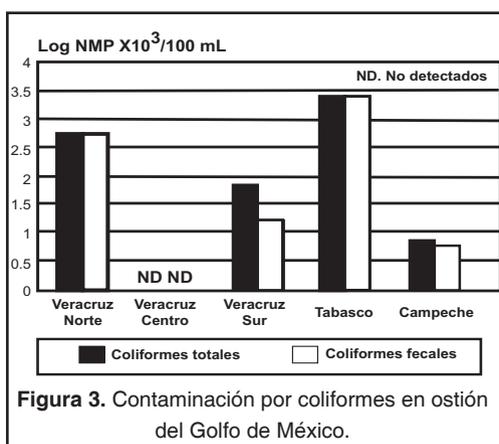


Figura 3. Contaminación por coliformes en ostión del Golfo de México.

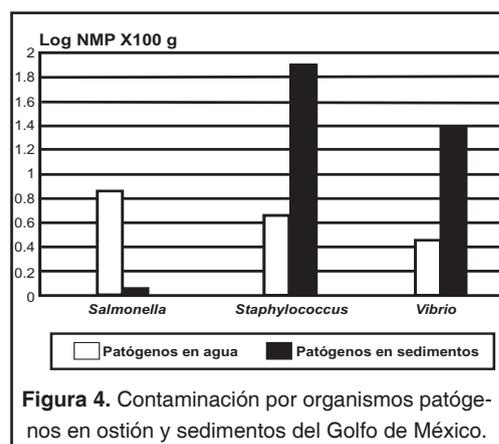


Figura 4. Contaminación por organismos patógenos en ostión y sedimentos del Golfo de México.

técnica, como por ejemplo: el tiempo de sembrado, la conservación de la muestra, la temperatura, el grupo o patógeno analizado, además de los factores de estrés en condiciones ambientales adversas. Es por esto que, a pesar de presentarse los resultados en órdenes de magnitud semejantes, no pueden realizarse comparaciones directas entre las diferentes investigaciones. Es importante enfatizar que los valores máximos pueden estar influenciados por las diluciones establecidas, de manera que no puede saberse a ciencia cierta si los niveles incluso pudieran ser mayores que los registrados como máximos.

Otro problema en el registro de datos microbiológicos es el uso de unidades semejantes para la cuantificación. Por ejemplo, el NMP/100 mL de muestra, es una unidad establecida para agua, donde generalmente la interpretación de los datos es sencilla, pero en el caso de evaluación de sedimentos, ostión y otros organismos, pueden presentarse problemas. El registro en sedimentos, que no se encuentra reglamentado, se reporta como NMP/100g y otros como NMP/g por los autores. En el análisis de ostión, sí existen normas de calidad sanitaria para su consumo y son reportadas en NMP/100mL, que involucra el análisis de un macerado de varios organismos, sin embargo, existen trabajos que llevaron a cabo el análisis por individuo o por gramo de tejido.

Las normas vigentes en México, reglamentan los niveles permisibles de coliformes totales, y en algunos casos de coliformes fecales para el agua destinada a diferentes usos. Actualmente, además de estos existen límites permitidos para diversos organismos que se extraen de las costas mexicanas, como ostiones, cefalópodos, gasterópodos y crustáceos (SS, 1995 y 1997). Sin embargo, a pesar de que ya se utilizan también otros indicadores, incluso patógenos, aún es necesario completar estas normas lo más detalladamente posible.

México ya tiene sistemas de monitoreo ambiental continuos en sus costas. Como ejemplo la SEMARNAT opera el programa de Vigilancia de Playas Limpias en conjunto con otras Secretarías como la de Turismo. El golfo presenta una acentuada contaminación bacteriológica, que resulta evidente a pesar de que los estudios realizados son escasos. Además

de los trabajos mencionados existen investigaciones que no se incluyeron en la presente recopilación por ser informes internos no citables o confidenciales. El monitoreo continuo y una mayor difusión de la información, permitiría generar bases de datos actualizadas y confiables sobre la calidad del agua, de manera que estas, con apoyo en la legislación ambiental permitirían proponer medidas realistas de control.

El agua que se consume en las poblaciones frecuentemente no tiene control sanitario y es usual la extracción de agua para consumo humano de depósitos a cielo abierto. Estos depósitos constituyen una importante o única fuente de agua para ciertos poblados rurales. Esta se toma de manera manual o se distribuye mediante tubería a las casas. Por otro lado, durante la época de lluvia, sube el nivel de los esteros, lo que implica la posibilidad que se mezclen aguas contaminadas con las destinadas a consumo humano, así como el arrastre de bacterias del suelo, situación que aumenta los problemas de salud, principalmente de enfermedades gastrointestinales, cuyas fuentes son difíciles de determinar.

En ocasiones el agua se extrae de pozos sin mantenimiento, lo que puede ser peligroso debido a que las aguas subterráneas pueden estar contaminadas con aguas residuales. Se han encontrado coliformes totales y fecales hasta a 9 m de profundidad y estreptococos fecales hasta a 28.9 m de profundidad. En ocasiones se han encontrado virus en el subsuelo, que se supone, pueden penetrar por percolación (Keswick, 1984).

Algunas regiones están particularmente afectadas por la contaminación fecal, como el área del río Coatzacoalcos, en donde resaltan los problemas relacionados con el crecimiento explosivo de centros urbanos que generan problemas de salud pública, derivados de ausencia de un manejo adecuado del agua, que a su vez inciden también en el deterioro ecológico y social.

Las escasas investigaciones llevadas a cabo en la región, así como las diferencias entre los enfoques de los autores, hacen necesario que exista un programa que coordine diferentes aspectos para establecer zonas prioritarias de estudio. Asimismo, deben seleccionarse los orga-

nismos indicadores idóneos para determinar la calidad del agua en zonas costeras. En términos generales se utilizan muy poco otros indicadores además de las bacterias coliformes. Estos podrían ser valiosos, como es el caso de las *Pseudomonas*. La mayoría de las especies del género *Pseudomonas* están ampliamente distribuidas en la naturaleza, por esta razón no se considera a este grupo como el indicador más adecuado para evaluar contaminación. Sin embargo, algunas especies son patógenas para plantas, un número muy pequeño es patógeno para anfibios, reptiles y peces, y únicamente *P. aeruginosa* es patógeno para el ser humano y los animales de sangre caliente; este organismo es responsable de un buen número de infecciones (Yoshpe-Purer y Golderman, 1987). Otro indicador con utilidad potencial es *Clostridium perfringens* que se encuentra en el suelo, agua y descargas de aguas residuales (Bonde, 1977). Los virus también podrían ser indicadores valiosos de la calidad del agua, su registro es independiente de la cantidad de bacterias. Conteos bajos de bacterias no garantizan una calidad sanitaria del agua adecuada en relación a la presencia de virus, en ocasiones su abundancia en aguas residuales presenta una relación inversamente proporcional a la abundancia de bacterias. También sería recomendable realizar el monitoreo de *Vibrio cholerae* serotipo O1 E1Tor en aguas residuales descargadas en el Golfo de México.

Es indispensable que las grandes poblaciones cuenten con sistemas de tratamiento para las aguas residuales antes de descargarlas en las zonas costeras. Estos son procedimientos con un costo elevado y generalmente se instalan en zonas muy pobladas. Las zonas rurales que no cuentan con estas medidas, requieren de un programa de educación ambiental con soluciones factibles y verdaderamente efec-

tivas. Este tipo de programas no puede realizarse en el corto plazo, ya que necesita de la participación de la población para mantener saludables las zonas costeras, sin embargo, se debe tener en cuenta que estas tienen poco acceso a servicios médicos y educativos, y además la población suele tener pocos recursos económicos y se encuentra dispersa.

La falta de planificación y el déficit de servicios han derivado en problemas crónicos de salud, siendo las enfermedades gastrointestinales todavía una de las principales causas de muerte en el país. La crisis económica y la evolución del gasto público en los años 1980s, mostraron un deterioro muy marcado en la inversión pública en el sector salud, disminuyendo del 2.5% de la inversión total en 1980, al 0.1% en 1987. Esta situación causó que la población se hiciera cargo en forma particular de las enfermedades como una responsabilidad individual (Lustig *et al.*, 1989). Posteriormente en los años 1990s los servicios de salud sufrieron un detrimento todavía mayor, muy evidente desde 1995. Este panorama no ha mejorado en el inicio del siglo XXI. Actualmente en México, la salud de la población depende del cuidado individual, así como del deficiente sistema de salud pública y los servicios relacionados, por lo que las políticas vigentes durante cada periodo de gobierno, son determinantes en la salud. Además depende de factores ecológicos ligados a las características genéticas y demográficas de la población y a las del ambiente de vida humano (San Martín, 1979).

El manejo integral del agua tiene repercusión directa en la salud humana y en los recursos relacionados con cuerpos acuáticos, este manejo es impostergable dado el nivel de contaminación microbiológica en el Golfo de México.

LITERATURA CITADA

American Public Health Association (APHA), 1995. Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters, 19th Ed. American Public Health Association, American Waterworks Association, Water Environment Federation. American Public Health Association, Washington, D.C. 1220 p.

Aubert, M., P. Koch, y J. Garancher, 1969. The diffusion of bacterial pollution in the sea, p. 793-809. *In*: S.H.

Jenkins (Ed.) *Advances in Water Pollution Research*. Pergamon Press. N.Y. 946 p.

Baross, J.A., F.J. Hanus, y R.Y. Morita, 1975. Survival of human enteric and other sewage microorganisms under simulated deep-sea conditions. *Appl. Microbiol.*, 30 (2): 309-318.

- Barrera, E.G., 1995.** Contaminación exógena de origen fecal en la Laguna de Tamiahua, Veracruz y su influencia en tres especies de interés comercial. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). Univ. Nal. Autón. México, 60 p.
- Barrera-Escorcía, G., I. Wong-Chang, A.S. Sobrino-Figueroa, X. Guzmán-García, F. Hernández-Galindo, y F. Saavedra-Villeda, 1998.** Estudio preliminar de contaminación bacteriológica en la Laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 14(2): 63-68.
- Barrera-Escorcía, G., I. Wong-Chang, A.S. Sobrino-Figueroa, X. Guzmán-García, F. Hernández-Galindo, y F. Saavedra-Villeda, 1999.** Evaluación microbiológica de la laguna de Tamiahua, Veracruz, en el ciclo 1994-1995. *Hidrobiológica*, 9(2): 125-134.
- Bonde, G.T., 1977.** Indication of water pollution, p: 273-364. *In: M.R. Droop and H.W. Jannash (Eds.) Advances in Aquatic Microbiology. Vol.I. Academic Press. London, U.K. 378 p.*
- Borrego, J.J., F. Arrabal, A. Vicente, L.F. Gómez, y P. Romero, 1983.** Study of microbial inactivation in the marine environment. *J. Water Pollut. Control. Fed.*, 55(3): 297-302.
- Botello, A.V., y H.S. Rodríguez, 1982.** Niveles actuales de compuestos organoclorados, desechos industriales y coliformes en los sistemas lagunares costeros del Estado de Tabasco, p. 20-25. *In: Informe Final presentado a la Secretaría de Pesca del Estado de Tabasco. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Univ. Nal. Autón. México, 59 p.*
- Botello, A.V., 1990.** Impacto ambiental de los hidrocarburos organoclorados y de microorganismos patógenos específicos en lagunas costeras del Golfo de México. Informe Final OEA-Conacyt, Univ. Nal. Autón. México, 69 p.
- Dart, R.K., y R.J. Stretton, 1977.** Microbial Aspects of Pollution Control. Elsevier Scientific Publishing Co. N.Y. 265 p.
- Duff, D.C.B., D.L. Bruce, y N.J. Antia, 1966.** The bacterial activity of marine planktonic algae. *Can. J. Microbiol.*, 12 (5): 877-884.
- 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. p. 661-674. *In: VIII Simposio Latinoamericano sobre Oceanografía Biológica. Acapulco, Guerrero, México, 759 p.*
- Flint, K.P., 1987.** The long-term survival of *Escherichia coli* in river water. *Jour. Appl. Bacteriol.*, 63: 261-270.
- Fujioka, R., C. Sian-Denton, M. Borja, J. Castro, y F. Morphew, 1999.** Soil: The environmental source of *Escherichia coli* and *Enterococci* in Guam's Streams. *J. Appl. Microbiol. Suppl.*, 85: 83S- 85S.
- Gauthier, J.M., 1980.** Poluciones bacterianas en el medio marino, p. 127-141. *In: J. M. Péres, J.M. (Ed.) La Polución de las Aguas Marinas. Ed. Omega. España. 247 p.*
- Gerba CH. P., y J.S. McLeod, 1976.** Effect of sediments on the survival of *Escherichia coli* in marine waters. *Appl. Environ. Microbiol.*, 32(1):114-120.
- González, A.S., C.A. Ruiz, y S.J. Medina, 1988.** Análisis bacteriológico del ostión *Crassostrea virginica* muestreado en el estero de Tecolutla, Ver. p. 80. *In: XIX Congreso Nacional de Microbiología. Asociación de Microbiología, Univ. Autón. N.L., México, 100 p.*
- González, A.S., y C.A. Ruiz, 1989.** Análisis bacteriológico del ostión y sus bancos de extracción en el estero Tecolutla, Ver., para su evaluación sanitaria, p. 92. *In: IX Coloquio de Investigación, ENEP-Iztacala, Univ. Nal. Autón. México, 105 p.*
- Guzmán, G.X., 1995.** Evaluación de la calidad sanitaria del ostión *Crassostrea virginica* de la laguna de Tamiahua, Ver. Tesis Profesional (Biología). Univ. Nal. Autón. México, 55 p.
- Hernández, M.J., M.M. Ruiz, y G.J. Atzin, 1988.** Evaluación de *Salmonella* y *Shigella* en la cuenca baja del río Coatzacoalcos, p. 80. *In: XIX Congreso Nacional de Microbiología. Asociación de Microbiología, Univ. Autón. N.L., México, 100 p.*
- Keswick, B.H., 1984.** Groundwater Pollution Microbiology, p. 49-64. *In: G. Bitton y C.P. Gerba (Eds.) J. Wiley & Sons. N.Y. 377 p.*
- Laws, E. A., 1981.** Aquatic Pollution. J. Wiley & Sons. N.Y. 482 p.
- Lustig, N., F. del Río, O. Franco, y E. Martina, 1989.** Evolución del Gasto Público en Ciencia y Tecnología. Academia de la Investigación Científica, A. C. Offset Setenta, S.A. de C.V. México. 46 p.
- Maciel, P.G., M. Vicencio, P. Martínez, G. Barrera, E. Ducoing, y P. Ramírez, 1990.** Contaminación bacteriana de los esteros La Laja y Cucharas de la laguna de Tamiahua, Ver., p. 38. *In: VIII Congreso Nacional de Oceanografía. Univ. Autón. Sin., México,*

- Martínez, F.M., 1989.** Influencia de mareas en las poblaciones bacterianas (coliformes y estreptococos fecales) del estero Milpas en las tres estaciones climáticas características de la laguna de Tamiahua, Ver. Informe final de Servicio Social. 23.15.014.88, Univ. Autón. Metropolitana. México, 76 p.
- Munro, P.M., M.J. Gauthier y F.M. Laumond, 1987.** Changes in *Escherichia coli* Cells starved in seawater or grown in seawater-was tewater mixtures. *Appl. Environ. Microbiol.*, 53:1476-1481.
- Pica, G.Y., 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 (Biología). Univ. Nal. Autón. México, 57 p.
- Quiñónez-Ramírez, E.I., C. Vázquez-Salinas, F.F. Pedroche, L. Moreno-Sepúlveda, y O.R. Rodas-Suárez, 2000.** Presencia de los géneros *Vibrio* y *Salmonella*, y detección de coliformes fecales en almejas del Golfo de México. *Hidrobiologica*, 10(2): 131-138.
- Ramos, R.J.A., 1992.** Evaluación sanitaria por bacterias coliformes totales y fecales en el sistema lagunar de Alvarado, Ver. Tesis. Profesional (Biología). ENEP-Iztacala Univ. Nal. Autón. México, 73 p.
- Rodríguez, 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.
- Rodríguez 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.
- Rodríguez, S.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.*, 15(2):105-110.
- Rodríguez, S.H., y J. Romero-Jarero, 1981.** Niveles de contaminación bacteriana en dos sistemas-fluvio-lagunares asociados a la laguna de Término Campeche. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, 8(1): 63-68.
- Romero-Jarero, J., M.J. Ferrara-Guerrero, L. Lizárraga Partida, y H. Rodríguez 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.
- Romero-Jarero, J., y S.H. Rodríguez, 1982.** Niveles actuales de contaminación coliforme en el sistema lagunar del Carmen-Machona, Tabasco. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, 9(1): 121-126.
- 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, C.A., L.R. Chávez, y M.J. Montoya, 1990.** Detección prospectiva de contaminación fecal en la laguna de Alvarado, Ver., p. 90. *In: X Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala*, Univ. Nal. Autón. México,
- San Martín, H., 1979.** Ecología Humana y Salud. El Hombre y su Ambiente. Ediciones Científicas. La Prensa Médica Mexicana. México. 232 p.
- Sastre, R.L., 1990.** Evaluación de la calidad bacteriológica del agua de la laguna de las Ilusiones, Villahermosa, Tabasco, México. Tesis Profesional (Biología). Univ. Veracruzana. México, 141 p.
- Secretaría de Salud (SS). 1995.** Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993. Bienes y Servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. Diario Oficial de la Federación, México. Marzo 6, 22 p.
- Secretaría de Salud (SS), 1997.** Norma Oficial Mexicana NOM-129-SSA1-1995 Bienes y Servicios. Productos de la pesca: secos-salados, ahumados, moluscos, cefalópodos y gasterópodos frescos-refrigerados y congelados. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Diario oficial de la Federación, México.
- Toledo, A., A.V. Botello, M. Cházaro, M. Herzig, L. Bosada, M. Páez, A. Báez, F. Contreras, y H. Rodríguez, 1988.** Energía, Medio Ambiente y Desarrollo, Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos 15. Ed. Centro de Ecodesarrollo. México. 382 p.
- Vaccaro, R.F., M.P. Brigs, C.L. Carcy y B.H. Ketchum, 1950.** Viability on *Escherichia coli* in sea water. *Am. J. Pub. Health.*, 40: 1257-1266.
- Wood, P.C., 1979.** Public health aspects of shellfish from polluted waters. *In: A. James and L. Evison (Eds.) Biological Indicators of Water Quality.* J. Wiley & Sons. G.B. 528 p.
- Yoshpe-Purer, Y., y S. Golderman, 1987.** Occurrence of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* in Israel coastal water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 53(5): 1138-1141.

Guzmán-García, X., G. Barrera Escorcía, e I. Wong Chang, 2005. Efectos del almacenamiento en la calidad sanitaria del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin) de la laguna de Tamiahua, Veracruz, p. 525-534. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Efecto del Almacenamiento en la Calidad Sanitaria del Ostión *Crassostrea virginica* (GMELIN) de la Laguna de Tamiahua, Veracruz

31

**Xochitl Guzmán-García¹, Guadalupe Barrera Escorcía²
e Irma Wong-Chang²**

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

²Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

RESUMEN

La contaminación bacteriológica en ostión está influenciada por las condiciones de manejo comercial, el estado fisiológico del organismo, por la calidad del agua donde este se desarrolla y por diversos factores del medio que pueden aumentar o disminuir el proceso de acumulación de microorganismos. El objetivo de este estudio fue evaluar los contenidos de bacterias coliformes (CF) y estreptococos fecales (EF) en *Crassostrea virginica* relacionándolos con algunos parámetros fisicoquímicos y el almacenamiento comercial durante un ciclo anual. Se utilizó la técnica de tubos múltiples de fermentación para la determinación del Número Más Probable (NMP) de CF y EF en ostión, agua y sedimento. El análisis bacteriológico fue individual en los organismos y se realizó antes de transcurrir 24 h desde su colecta, a las 72 h y 120 h de almacenamiento. Se comprobaron cambios significativos en las concentraciones de bacterias en ostión a las 120 h de almacenamiento ($p < 0.05$), así como variación en los contenidos de bacterias dependiendo de la estación climática ($p < 0.05$). La calidad sanitaria del ostión rebasó los límites establecidos para su consumo después de las 120 h de almacenamiento (3023 NMP CF/g) en todas las colectas, determinándose los valores más altos en la estación de lluvias (739 CF/g y 1273 EF/g). Las CF en el agua, no presentaron correlación significativa con las concentraciones de CF en ostión; pero los contenidos de EF si la presentaron ($r = 0.91$).

ABSTRACT

Bacteriological pollution in oysters is affected by the market process, the organism physiological condition, the water sanitary quality and several environmental factors, that can increase or decrease the accumulation process of microorganisms. The objective of this study was to evaluate faecal coliforms (FC) and faecal streptococci (FS) contents in *Crassostrea virginica* and its relationship with other physicochemical parameters, as well as, the storage effect during an annual cycle. Multiple fermentation tubes technique was employed to determine the most probable number (MPN) of FC and FS in oysters, water and sediment. Bacteriological analysis was individual and the process was applied before 24 h, after sampling, at 72 h and 120 h of storage. Significant changes were observed in the oyster contents at 120 h of storage ($p < 0.05$), as well in the

rainy season ($p < 0.05$), obtaining the highest values during this season (739 FC/g y 1273 FE/g). The oyster surpassed the permissible limits for consumption after 120 h of storage 3023 (MPN CF/g). The FC in water did not showed correlation with the oyster bacterial concentration, but FE showed a direct and significative correlation with water ($r = 0.91$).

INTRODUCCIÓN

El ostión *Crassostrea virginica* es un recurso de gran valor económico y alimenticio, cuya calidad sanitaria se ve afectada por las características del agua donde se cultiva y por su inadecuado manejo comercial (Rosas *et al.*, 1985). Cuando esta calidad ha sido deteriorada, el ostión no cubre los requerimientos microbiológicos necesarios para la exportación (Bardach *et al.*, 1992).

La relación entre la contaminación de áreas de cultivo de ostión y la incidencia de diarreas ha sido ampliamente demostrada (FDA, 1992), y se origina porque bacterias del grupo coliforme, así como otras, pueden retenerse en el ostión durante su alimentación, ocasionando que éste se convierta en posible vector de enfermedades (Volterra *et al.*, 1980).

En varios países se tienen registrados brotes de infecciones por consumo de ostión (Rodríguez y Fernández, 1968; Goyal *et al.*, 1979; Pelczar *et al.*, 1982; Pontefract *et al.*, 1993). En México no existe una estadística específica al respecto, sin embargo, se contemplan criterios microbiológicos para el control de la calidad de este recurso (DOF, 1995).

La determinación de bacterias coliformes fecales (CF), constituye un buen elemento para evaluar la calidad sanitaria debido a que el grupo implica la posible presencia de patógenos (Hernández y Vargas, 1993). Los estreptococos fecales (EF) también se utilizan como indicadores de contaminación fecal animal, y recientemente algunas otras bacterias se han propuesto como indicadoras de contaminación (Rodopoulou y Papapetropoulou, 1992).

Los estudios previos sobre calidad bacteriológica del ostión en México, corroboran que existen niveles superiores a los establecidos en la norma, en organismos colectados en las lagunas Tamiahua (Rosas *et al.*, 1985) y Tecolutla en el estado de Veracruz (González *et al.*, 1988), Carmen-Machona en Tabasco

(Rodríguez, 1986) y laguna de Términos en Campeche (Romero y Rodríguez, 1982). Los factores que pueden estar asociados con esta forma de contaminación son: la recolección en zonas prohibidas, el almacenamiento a temperaturas inadecuadas, el prolongado tiempo entre su colecta y su distribución, la ausencia de lavado antes de abrir el ostión, la manipulación por personas con malos hábitos higiénicos y la exposición al ambiente una vez sacados de su concha (González *et al.*, 1988; Rosas *et al.*, 1985).

El método de almacenamiento de ostión que se utiliza en la zona del Golfo de México, generalmente consiste en el transporte de los organismos en seco y a temperatura ambiente hasta los centros de distribución comercial, transcurriendo varias horas o incluso días hasta el punto de destino. Esta situación es contraria a lo que prevé la Norma Oficial Mexicana para moluscos frescos, refrigerados y congelados (Secretaría de Salud, 1994) que ordena para la conservación y transporte de este molusco una temperatura menor de 7.2°C.

En los centros de abasto se mantiene en las bodegas sin ninguna refrigeración por lo menos 3 días y después de este período se empieza a desconchar el producto. Los moluscos son organismos filtradores, que concentran bacterias al pasar al tracto digestivo. Existen evidencias que demuestran que los procesos digestivos no inactivan a estos organismos, de manera que el ostión puede llegar a contener gran cantidad de estas bacterias, provenientes de muchos litros de agua filtrada (Priour *et al.*, 1990).

Las precarias condiciones de comercialización en México, facilitan que se presenten padecimientos intestinales en áreas geográficamente retiradas del sitio de extracción, por consumo de ostión contaminado (Rodríguez y Fernández, 1968).

La concentración de los microorganismos en el ostión es altamente variable y depende de diversos factores extrínsecos e intrínsecos. En los últimos años se le ha considerado como un agente biológico idóneo de monitoreo, ya que integra muchos efectos de diversos factores en espacio y tiempo, aportando información valiosa sobre la calidad sanitaria del medio que habitan. Entre las características que determinan que los moluscos bivalvos sean utilizados para estos fines, destacan: el ser organismos sedentarios, fáciles de monitorear y el hecho de que su hábito alimenticio sea por filtración, de manera que proveen evidencias del estado ambiental de un área (Pelczar *et al.*, 1982).

En la laguna de Tamiahua, Veracruz, una de las especies de mayor volumen de captura es el ostión *Crassostrea virginica*. Este estado es el primer productor del país y la laguna mencionada representa la zona de mayor extracción de este recurso (Secretaría de Pesca, 1990). Debido a esto, se planteó como objetivo general de este trabajo evaluar la calidad sanitaria del ostión (*Crassostrea virginica*) de la laguna de Tamiahua y relacionarla con algunos factores ambientales y de almacenamiento comercial durante un ciclo anual.

ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Tamiahua (Fig.1) se localiza en la porción occidental de las costas del Golfo de México, en el estado de Veracruz, entre las coordenadas 21°06' y 22°05' de latitud norte y los 97°23' y 97°46' de longitud oeste; la limitan, al norte el río Pánuco y al sur el río Tuxpan (Contreras, 1993). Es por su extensión, la tercera más grande del país y una de las más estudiadas (Castañeda y Contreras, 1994). Existen tres estaciones climáticas fácilmente distinguibles que son: sequía (marzo a junio), lluvia (ju-

lio a octubre) y nortes (noviembre a febrero); en esta última prevalecen fuertes vientos (Sevilla y Ramírez, 1965). Recibe descargas de numerosos ríos, entre los que se encuentran: la Laja, Cucharas, Carbajal, San Jerónimo, Tancochín, Tampache, la Cienega y Milpas. Debido a la gran cantidad de especies comerciales que posee esta laguna, el estado de Veracruz se encuentra entre los cuatro primeros lugares en relación a la explotación pesquera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron en las 3 temporadas climáticas predominantes de la laguna de Tamiahua. En la estación de lluvias se llevaron a cabo dos colectas, una al inicio y otra al final de la temporada. Los ostiones fueron extraídos del banco ostrícola situado frente a la ciudad de Tamiahua. En cada ocasión se colectaron 30 ejemplares de ostión, los cuales se transportaron en seco en bolsas denominadas arpillas, como comercialmente se realiza. Los ejemplares fueron analizados individualmente en lotes de 10 organismos antes de que transcurrieran 24 horas desde su colecta, así como a las 72 y 120 h, con el fin de evidenciar la influencia del almacenamiento sobre los contenidos de bacterias. Paralelamente se colectaron con recipientes estériles muestras de agua superficial así como muestras de sedimento asociado al ostión, las cuales fueron transportadas en hielo a 4°C.

Se registraron *in situ* los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura ($\pm 0.5^\circ\text{C}$) y oxígeno disuelto ($\pm 0.5 \text{ mgO}_2/\text{L}$), con un oxímetro YSI 54 ARC, pH con un potenciómetro digital (Corning 0.05) y profundidad con un disco de Secchi ($\pm 0.50 \text{ cm}$).

En el Laboratorio, los ejemplares fueron lavados y el tejido extraído en condiciones asépticas siguiendo las recomendaciones indicadas por Rosas *et al.* (1985) y APHA (1989). Las muestras individuales fueron aforadas a 50 mL con buffer fosfatado pH 7 y homogeneizadas por 60 segundos a 14000 rpm (Thatcher y Clark, 1973).

Para la siembra de las muestras de ostión y sedimento, se hicieron diluciones al 1.0%, 0.1% y 0.01% y en las muestras de agua, 100%, 10% y 1.0%. La determinación de CF se realizó

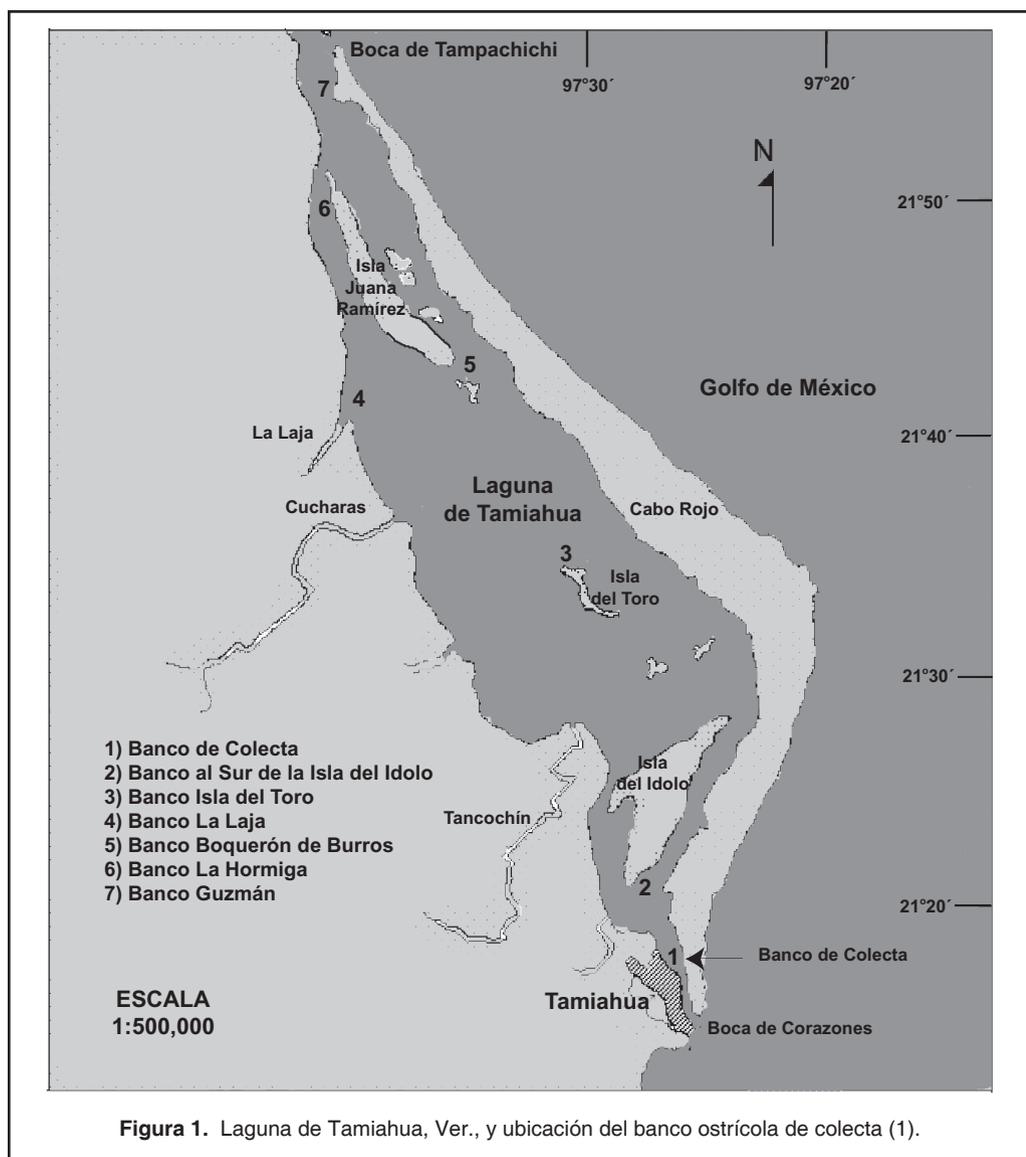


Figura 1. Laguna de Tamiahua, Ver., y ubicación del banco ostrícola de colecta (1).

en caldo lactosado incubado a 35°C, con conteos de los tubos con presencia de gas a las 24 y 48 h. Los tubos positivos fueron inoculados en el medio confirmativo EC (*Escherichia coli*) e incubados a 44°C con conteos a las 24 y 48 h. Para la determinación de EF, se utilizó caldo Azida-dextrosa con incubación a 37°C, los conteos se realizaron a las 24 y 48 h y la resiembra de los tubos positivos se realizó en caldo púrpura de Bromocresol-Azida, incubado también a 37°C con conteos a las 24 y 48 h.

Se calculó el NMP mediante la fórmula propuesta por APHA (1989). Para ostión se consideró el volumen total homogenizado que, de

acuerdo con Volterra *et al.* (1983), permite calcular las bacterias por gramo.

La calidad sanitaria del ostión se determinó con base en los límites indicados en la norma de la Secretaría de Salud (1995) que indica que los moluscos bivalvos frescos, refrigerados y congelados deberán tener un límite máximo de 230 NMP de bacterias CF/100 g de ostión. Se consideran no satisfactorias las muestras cuando exceden de un NMP de 330 CF/100 g (Vargas y Lizarraga-Partida, 1993).

Para evaluar el grupo de EF, el cual no se incluye en las normas mexicanas, se utilizó

la norma francesa que establece como límite máximo permisible en moluscos bivalvos 2500 NMP EF / 100 g (Prieur *et al.*, 1990).

La calidad del agua requerida para cultivo de ostión (240 NMP CF/ 100 mL) se estableció de acuerdo al DOF (2003).

El factor de acumulación de bacterias en ostión se determinó como:

$$A = Ba / Bw$$

Donde, Ba es el nivel de bacterias por gramo de ostión y Bw es el nivel de bacterias por mL

del agua donde se desarrollan los moluscos (Cabelli y Hefeernan, 1970).

Se obtuvo la relación entre los contenidos de bacterias en ostión con la morfometría (longitud y el peso), así como con los parámetros físico-químicos registrados de la laguna.

El análisis estadístico se realizó con pruebas no paramétricas para comparar las concentraciones de bacterias de los diferentes días y estaciones climáticas, con un límite de confianza del 95%, utilizando la prueba de Kruskal-Wallis y las correlaciones se establecieron mediante la prueba de Spearman (Steel y Torrie, 1988)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad Sanitaria

Las concentraciones de bacterias coliformes en ostión al momento de la colecta indicaron valores mayores a los del Límite Máximo Permitido (LMP), únicamente al principio de la estación de lluvias y estas representaron el 40% de las muestras. Se determinaron niveles promedio de 739 NMP CF/g. Ninguna muestra excedió las normas en los organismos recién colectados en las colectas restantes. Sin embargo, en el agua, la concentración más alta de bacterias CF (1519 NMP CF/100 mL) se encontró en la estación de secas.

El grupo de EF mostró medias geométricas mayores de 1000 NMP/g en el primer día de análisis. En este caso, el 20 % de las muestras presentó mala calidad sanitaria al inicio de la estación de lluvias, pero no se rebasaron los límites en las colectas siguientes, mientras que en el agua este grupo solo se registró al principio de la estación de lluvias con 572 NMP/ 100 mL.

Efecto del Almacenamiento

Los organismos que conformaron los lotes tuvieron una longitud promedio de 6.7 ± 0.08 cm y un peso de 12.6 ± 0.17 g. No se encontró asociación entre las características morfométricas y los contenidos de bacterias.

La comparación de la calidad de los organismos recién colectados con los almacenados permitió evidenciar que se presentó fluctuación en la densidad de bacterias (Fig. 2). Las bacterias CF determinadas al inicio de la estación de lluvias tuvieron un incremento significativo con el tiempo de almacenamiento ($p < 0.05$). El 70% de los que contaban con 120 h de almacenamiento rebasaron las normas y alcanzaron medias geométricas de 3023 NMP CF/g.

Las concentraciones de EF no sufrieron cambios significativos en los días de almacenamiento. A pesar de que el 20% de las muestras recién colectadas rebasó la norma al inicio de la estación de lluvias, además las muestras con 72 h de almacenamiento rebasaron las normas para EF apenas en un 10%. A las 120 h de almacenamiento se registraron 30% de muestras

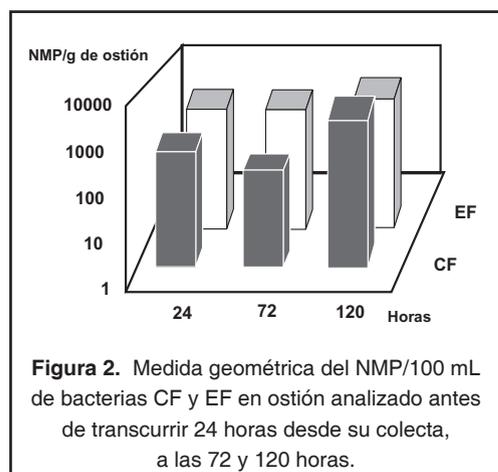


Figura 2. Medida geométrica del NMP/100 mL de bacterias CF y EF en ostión analizado antes de transcurrir 24 horas desde su colecta, a las 72 y 120 horas.

con un promedio de 4014 NMP EF/g. Sin embargo, se consideró que existió una considerable correlación de ambos grupos de bacterias en el ostión, $r = 0.65$ ($p < 0.05$), lo cual confirma su presencia simultánea.

Debe tomarse en cuenta que la normatividad mexicana, así como diferentes estudios, indican que la calidad sanitaria se analiza a partir de un homogenizado de 100 g de músculo, el cual se alcanza con cierto número de organismos (Hussong *et al.*, 1981; Rosas *et al.*, 1985; Rodríguez, 1986; Diario Oficial, 1987; González *et al.*, 1988; APHA, 1989; FDA, 1992; Curmier *et al.*, 1993). Sin embargo, algunos trabajos han utilizado diferentes cantidades: 10 ó 20 organismos, 25 g e incluso diferentes diluyentes y diluciones. Estas variantes aparentemente no afectan los resultados (Volterra *et al.*, 1980). En esta investigación se optó por sustituir el análisis del homogenizado, por el individual, para facilitar la interpretación relacionada con el proceso de acumulación como consecuencia del proceso de almacenamiento.

Al inicio de la época de lluvias el factor de acumulación en los cinco días de almacenado se incrementó de 32 a 3003 en el caso de CF y de 13 a 1016 en el caso de EF. Estos factores superaron los índices de enriquecimiento en bivalvos con respecto al agua de cultivo mencionados por Perkins *et al.* (1980), que indican como altos niveles de bioacumulación, incrementos que van de 3 a 16 para CF y de 10 a 20 para EF.

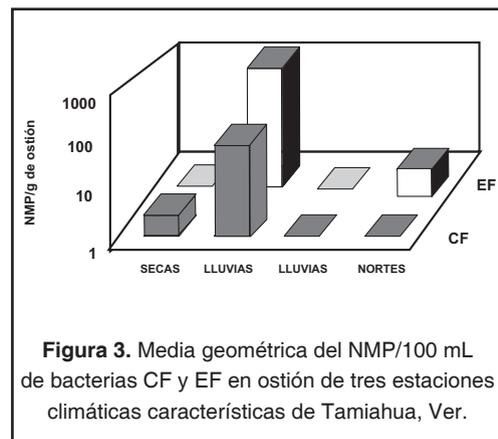
Las concentraciones de bacterias obtenidas en ostión con menos de 24 h de almacenamiento, dependen de la eficiencia en el mecanismo de acumulación y depuración, así como de las bacterias presentes en el medio en que se desarrolla (Prieur *et al.*, 1990).

La acumulación de bacterias es un hecho puntual y si bien, puede en algunas ocasiones reflejar los cambios ambientales, puede también depender de la frecuencia de los aportes de agua residual. De manera que la concentración de bacterias acumuladas en estos organismos, podría corresponder a una concentración anterior en agua más contaminada; esto origina que en ocasiones no exista una relación directa o bien que sea mínima la relación agua-ostión. En esta investigación la correlación ob-

tenida entre las CF en ostión y agua fue baja ($r = 0.34$; $p < 0.05$) y alta, $r = 0.91$, para EF. La estrecha relación de los contenidos de EF en el ostión, con los registrados en agua, parece indicar que el ostión puede retener estas bacterias más fácilmente que a las CF. La mayor acumulación de EF en bivalvos, también puede deberse a una mejor adaptación de este grupo a las condiciones hostiles encontradas en el tracto digestivo de los moluscos, toda vez, que se ha demostrado una mayor resistencia de los EF a varios factores ambientales, respecto a las coliformes (Plusquellec *et al.*, 1983). Es por estos motivos que EF es un grupo importante como indicador complementario de contaminación fecal en el ostión (Prieur *et al.*, 1990).

Además de los aportes de agua residual, la presencia y permanencia de ambos grupos de bacterias en el ambiente se ha asociado a variaciones estacionales. En el presente estudio, en la época de secas, sólo el 20% de las muestras presentaron concentraciones menores cuya media geométrica fue de 41 NMP CF/100 mL, de hecho al final de las épocas de lluvias y nortes este grupo no fue detectado. Análogamente, las concentraciones de EF fueron menores de 31 NMP/100 mL en el 10% de las muestras y sólo fueron determinadas en la época de nortes. En contraste, durante el inicio de la estación de lluvias las concentraciones de ambos grupos fueron superiores a las de otras estaciones climáticas ($p < 0.05$), resultado que puede apreciarse en la figura 3. De manera que se presentó una significativa variación estacional de las bacterias en ostión.

Esta variación ha sido señalada por otros autores, en diferentes sitios del Golfo de México, y



han encontrado que los moluscos y el agua de intervalvas presentan mayor número de CF durante los meses de junio, julio y agosto y menor concentración durante septiembre y noviembre estos sitios, incluyen la laguna de Tamiahua (Volterra *et al.*, 1983; Watkins y Cabelli, 1985; Ruple y Cook, 1992, Barrera *et al.*, 1998 y 1999), de manera que se corrobora que existe mayor probabilidad de contraer enfermedades asociadas con la ingestión de mariscos contaminados al inicio de la estación de lluvias.

En relación a los parámetros fisicoquímicos registrados durante las colectas, cuyos valores promedio fueron: temperaturas entre 20 y 31°C, el oxígeno disuelto entre 6.9 y 8.4 mg/L, y el pH entre 5 y 8.3; se encontró una relación directa entre las concentraciones de CF y el oxígeno disuelto ($r=0.63$ $p < 0.05$), mientras que los EF se relacionaron con el pH y la temperatura ($r=0.77$ $p < 0.05$). Del mismo modo, estos parámetros también variaron de manera directa con las concentraciones de EF en ostión, obteniéndose un coeficiente de correlación de $r=0.78$ en el caso del pH; y $r=0.63$, en el caso de la temperatura. En contraste, la concentración de CF en ostión sólo se asoció directamente con la temperatura ($r=0.54$). También pudo apreciarse que la concentración de EF en el agua ($r=0.81$) y en el ostión ($r=0.78$) presentaron un incremento con respecto a la profundidad. Las muestras fueron extraídas de sitios con profundidad entre 1 y 3 m, siendo en esta última donde se obtuvieron las mayores concentraciones de bacterias EF.

Las elevadas concentraciones de bacterias al inicio de las lluvias, podrían estar asociadas al aumento del volumen de agua en la red de alcantarillado, que incorpora microorganismos fecales y materia fecal humana, además de los aportes de origen animal y humano, que son arrastrados por el agua de lluvia proveniente del área urbana, agrícola y ganadera a través de escorrentías (López, 1990). Los aportes de estas bacterias pueden ser posteriormente dispersados por las corrientes de agua de la laguna, desapareciendo en un período de tiempo que es variable y que depende de diversos factores que incluyen: la mezcla con el agua de mar, las condiciones fisicoquímicas del medio, la dinámica de las corrientes, los vientos y las mareas (Romero y Rodríguez, 1982).

El deterioro de la calidad sanitaria, asociada al tiempo de almacenamiento coincidió con lo indicado por Boury y Borde (1964), quienes registraron bajas fluctuaciones en la densidad de bacterias en ostión almacenado de 2 a 3 días y un posterior y significativo incremento al prolongarse el período de almacenamiento. Estos autores consideraron que la temperatura influye de manera importante. Pero otros factores, relacionados con la biología de estos organismos pueden estar asociados, como es el caso de cierre de valvas. *C. virginica* puede mantener sus valvas cerradas cierto tiempo y retener la humedad, lo que prolonga su supervivencia y la de los microorganismos que se encuentran acumulados (Prieur *et al.*, 1990). Con, el almacenamiento prolongado de los bivalvos, aumenta el estrés fisiológico, situación que puede facilitar el incremento bacteriano que se observa posteriormente a las 72 h.

Por otro lado el grupo EF no se utiliza frecuentemente como indicador sanitario, debido a su mayor resistencia y a que su presencia no guarda necesariamente relación con las bacterias patógenas. Sin embargo, este grupo incluye también especies patógenas para el hombre y animales (Austin y Allen, 1985; Braude *et al.*, 1984). Además, generalmente se encuentra en todas las muestras que contienen CF (Plusquellec *et al.*, 1983), ya que algunos miembros están presentes normalmente en las heces de los mamíferos (Thatcher y Clark, 1973). Una alta correlación directa entre los dos grupos indicadores evaluados, ha sido observada también en diversos estudios epidemiológicos lo que ha permitido sugerir que los EF son tan buenos indicadores como los CF; este grupo, ha sido incluido en las evaluaciones de calidad del agua de Estados Unidos, Canadá, Australia y Nueva Zelanda (Sinton *et al.*, 1994), sin embargo en México no están considerados.

Los resultados y los argumentos presentados, permiten recomendar el uso de EF en la evaluación de la calidad sanitaria del ostión, a pesar de que aún no se consideren en la legislación mexicana. Cabelli y Heffernan (1971), señalan que la acumulación de bacterias en el ostión es un hecho integrado en el tiempo y que depende de la duración del período de contaminación. Se ha demostrado que dicho proce-

so, es independiente de la concentración en el medio en un período de 6 a 48 h. Los diferentes niveles de contaminación en moluscos bivalvos se deben a las concentraciones en el medio, así como al tiempo en que los ostiones acumulan, además de los factores que afectan dicho proceso, todo lo cual consecuentemente genera las diferencias registradas en el factor de acumulación observado por diferentes autores (Sevilla y Ramírez, 1965; Wood, 1961; Wood, 1979).

La relación de las CF en el agua, con el oxígeno disuelto, coincide con lo reportado por Romero y Rodríguez (1982), quienes registraron altas concentraciones de estas bacterias en áreas donde el contenido de oxígeno disuelto era alto. Las concentraciones de EF en el agua parecen ajustarse mejor a los cambios de pH y temperatura, según Curtis *et al.* (1992) y Sinton *et al.* (1994). Estos autores indican que las altas temperaturas pueden actuar sinérgicamente con el pH, ocasionando que bacterias del grupo CF se vean inactivadas al dañarse su membrana citoplasmática. En contraste, el grupo de EF ha mostrado menor susceptibilidad a la acción sinérgica del pH y la temperatura, así como a la depredación por protozoarios, los cuales aparentemente, consumen las distintas especies de bacterias con diferente eficacia (Curtis *et al.*, 1992).

Además, la asociación encontrada, el grado de contaminación en el ostión, el pH y la temperatura, pudo depender de la actividad alimenticia. El pH tiene influencia en el proceso de alimentación de estos organismos, los cuales se desempeñan en condiciones óptimas entre 6 a 8.5 unidades de pH, valores por debajo o por encima de los cuales detienen el proceso de filtración (Secretaría de Pesca, 1988). Así, aunque en la estación de secas se registró una gran cantidad de CF (1519 NMP) en el agua,

el pH fue de 5, lo que pudo limitar la incorporación de bacterias en los organismos. En general, los valores de la temperatura (20 a 31°C) y de oxígeno disuelto (> 5.0 mg/L) registrados durante las colectas, se encontraron dentro de los intervalos señalados como óptimos para el desarrollo de ostión (Bardach *et al.*, 1992; Environmental Protection Agency, 1973).

El ostión del banco ubicado frente a la ciudad de Tamiahua presentó mala calidad sanitaria, por el contenido de CF únicamente al inicio de la estación de lluvias. Los límites no se rebasaron para EF.

El método de almacenamiento tradicionalmente utilizado en el manejo del ostión de la laguna de Tamiahua, desde su extracción hasta su comercialización, favorece el incremento de bacterias CF después de las 72 h, debido a que diversos factores actúan simultáneamente. Estos incluyen la concentración de bacterias *in situ*, la ausencia de refrigeración y el tiempo transcurrido desde la extracción hasta la adquisición por el consumidor.

Si bien el grupo EF no demostró incremento significativo por el almacenamiento, las bacterias en el agua y en el ostión presentaron buena correlación, lo cual corrobora la utilidad de ambos grupos como indicadores de contaminación microbiológica. La elevada correlación entre los contenidos de ambos grupos dentro de los organismos durante el almacenamiento, apoya la utilidad del grupo EF como indicador, independientemente de que el almacenamiento no incrementara significativamente sus concentraciones. Además, este grupo presentó mayor correlación con el pH y la temperatura que son factores determinantes en los procesos fisiológicos, tanto del ostión como del grupo EF.

LITERATURA CITADA

Austin, B. y D. Allen-Austin, 1985. A review bacterial pathogens of fish. *Jour. Appl. Bacteriol.*, 58: 483 - 506.

American Public Health Association (APHA), 1989. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 15ª ed. Diaz de Santos, S.A., Madrid, España, 1139 p.

Bardach, J., J. Ryter, y W. Clarney, 1992. Acuacultura. AGT Editor, México. 739 p.

Barrera, E. G., I. Wong-Chang, S. Sobrino, F., X. Guzmán-García, F. Hernandez, G. y F. Saavedra, 1998. Estudio preliminar de contaminación microbiológica en la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, México. *Contam. Amb.*, 14(2): 63-68.

- Barrera, E. G., I. Wong-Chang, S. Sobrino, F., X. Guzmán-García, F. Hernandez, G. y F. Saavedra, 1999.** Evaluación microbiológica de la laguna de Tamiahua, Veracruz, en el ciclo 1994-1995. *Hidrobiologica*, 9(2): 125-134.
- Boury, M. y J. Borde, 1964.** La contamination bacterienne des coquillages. *Pollut. Mar. Micro. Prod. Petrol. Symp. Monaco. CIESM.*: 277-284.
- Braude, A., Ch. Davis y F. Joshua, 1984.** Microbiología Clínica. Ed. Panamericana, México. 909 p.
- Cabelli, V. y W. Heffernan, 1970.** Accumulation of *Escherichia coli* by the Northern Quahaug. *Appl. Microbiol.*, 19: 239 - 244.
- Cabelli, V. y W. Heffernan, 1971.** Elimination of bacteria by the Northern Quahaug; Variability of the response of individual animals and development of criteria. *Proc. Nat. Shellfish Assoc.*, 61: 102-108.
- Castañeda, O. L. y F. E. Contreras, 1994.** Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros mexicanos. Vol III: Golfo de México I. (De Tamaulipas a Veracruz). CO-NABIO/ UAM- I / CDELM. México, 615 p.
- Contreras, E. F., 1993.** Ecosistemas Costeros Mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, UAM-I. México, pp. 153-155.
- Curmier, A., S. Chiason y A. Leger, 1993.** Comparison of maceration and enumeration procedures for aerobic count in selected seafoods by standard method petrifilm, Redigel and Isogrid. *J. Food Protection*, 56 (3): 249 - 251.
- Curtis, T., M. Ducan y A. Silva, 1992.** Influence de pH, oxigen and humic substances on ability of sunlight to damage fecal coliforms in water stabilization pond water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 50 (2): 1335 - 1343.
- Diario Oficial de la Federación, 1987.** Norma Oficial Mexicana para la Detección y Enumeración de Organismos Coliformes, Organismos Coliformes Termotolerantes y *Escherichia coli*. NOM-AA-42-1987. México. 17p.
- Diario Oficial de la Federación, 1995.** Norma Mexicana. NOM-031-SSA1-1993. Bienes y Servicios productos de la pesca, Moluscos Bivalvos frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. Secretaría de Salud, 1995. . México. Marzo 6, 22 p.
- Diario Oficial de la Federación, 2003.** Ley Federal de Desechos Norma aplicables en Materia de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes. Enero 2: 173 – 191
- Environmental Protection Agency, 1973.** Water Quality Criteria. Ecological Research Series, Washigton, D.C., 594 p.
- Food and Drug Administration (FDA), 1992.** National Shellfish Sanitation Program Manual of Operations. U.S. National Shellfish Program. Shellfish Sanitation FDA. Washington, D.C., pp 10 - 87.
- Gerba, P. y J. S. Mcleod, 1976.** Effect of sediments on the survival of *Escherichia coli* in marine waters. *Appl. Environ. Microbiol.*, 32(1): 114 - 120.
- González, A. S., C. Ruíz y A. Pérez, 1988.** Aislamiento de enterobacterias a partir de Ostión recientemente extraído de su banco. VIII Coloquio de Investigacion. ENEP-IZTACALA UNAM. México, C 31.
- Goyal, M. S., Ch. Gerba, y J. L. Melnick, 1979.** Human enteroviruses in oysters and overlying waters. *Appl. Environ. Microbiol.*, 37(3): 573 - 581.
- Hernández, J. y F. Vargas, 1993.** Consideraciones en la cuantificación de coliformes fecales en aguas de mar. V Congreso Latin. Amer. de Ciencias del Mar. La Paz, B.C.S. C 46.
- Hussong, D., J. Daware, R. Weiner y R. Colwell, 1981.** Bacteria associated with false-positive most probable number coliform tests results for shellfish and estuaries. *Appl. Environ. Microbiol.*, 41 (1): 35-45.
- López, A. P., 1990.** Abastecimiento de Agua Potable y Disposición y Eliminación de Excretas. IPN. México, D. F., 295 p.
- Pelczar, M., R. Reid. y E. Chan, 1982.** Microbiología. Mc Graw Hill, México, 741 p.
- Perkins, F., D. Haven, R. Alamo y M. Rhodes, 1980.** Uptake and elimination of bacteria in shellfish. *J. Food Prot.*, 43: 124- 126.
- Plusquellec, A., M. Beucher y L. Gal, 1983.** Enumeration of the bacterial contamination of bivalves in monitoring the marine bacteria pollution. *Marine Pollut. Bull.*, 14: 260 - 262.
- Pontefract, R., F. Bishai, J. Hockin, G. Bergerun y R. Parent, 1993.** Norwalk-like viruse associated with a gastroenteritis outbreak following oyster consumption. *J. Food Prot.*, 56(7): 604 - 607.
- Prieur, D., G. Mevel, J. Nicolas, A. Plusquellec y M. Vigneulle, 1990.** Interactions between bivalve molluscs and bacteria in the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Annual. Rev.*, 28: 277- 352.

- Rodríguez, C. R. y E. Fernández, 1968.** Estudios bacteriológicos de la calidad sanitaria de los ostiones consumidos en la ciudad de México. *Rev. Lat. Amer. Microbiol. Parasitol.*, 10: 93 - 100.
- Rodríguez, S. H., 1986.** Bacterias coliformes en el procesamiento de ostiones (*Crassostrea virginica*) en Tabasco, México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol.*, 13 (1): 455 - 458.
- Rodopoulou, G. y M. Papapetropoulou, 1992.** Pollution indicators along the beaches of Achala. *Acta Microbiol. Hellenica.*, 37 (2): 195 - 209.
- Romero, J. J. y H. S. Rodríguez, 1982.** Niveles actuales de contaminación coliforme en el sistema lagunar del Carmen Machona, Tabasco. *An. Inst. Cienc. del Mar. y Limnol.*, 9(1) : 121 - 126.
- 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.
- Ruple, A. y F. Cuok, 1992.** *Vibrio vulnificus* and indicator bacteria in shellstock and commercially processed oyster from the Gulf Coast. *J. Food Prot.*, 55 (9): 667-671.
- Secretaría de Pesca, 1988.** Manual Técnico para la Operación de Centros Acuícolas Productores de Ostión. ISBN 968-817-146-8. México, D. F., 184 p.
- Secretaría de Pesca, 1990.** Anuario Estadístico de Pesca. Dirección General de Programación e Informática, México, D.F. 42 p.
- Secretaría de Salud, 1994.** Manual de Procedimientos para el Análisis Microbiológico de Moluscos Bivalvos. México, D. F., 22 p.
- Sevilla, M. L. y R. Ramírez, 1965.** Las ostras de México, datos biológicos y planeación de su cultivo. *Biol. Pesquera*, (7) : 93 p.
- Sinton, L., R. Davis-Colley y R. Bell, 1994.** Inactivation of enterococci and fecal coliforms from sewage and meatworks effluents in seawater chambers. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60(2): 2040 - 2048.
- Steel, R. y J. Torrie, 1988.** Bioestadística: Principios y Procedimientos. McGraw-Hill. Mexico, D.F., 621 p.
- Thatcher, F. y D. S. Clarck, 1973.** Análisis Microbiológico de los Alimentos. Ed. Acribia, España, 267 p.
- Vargas, G. y L. Lizárraga-Partida, 1993.** Manual de Prácticas de Laboratorio del Curso Bacteriología Marina. Comunicaciones Académicas, Serie Ecología. CICESE. Ensenada B.C. Mexico, 31 p.
- Volterra, L., F. Aulicino, E. Tosti, y M. Zicarelli. 1980.** Bacteriological monitoring of pollution in shellfish: methodological evaluation. *Water, Air and Soil Pollution*, 13: 399- 410.
- Volterra, L., G. Piccininno, E. Palliola, F. Aulicino y M. Gianfranceschi, 1983.** Environmental Fecal Pollution and Concentration Power of the Clam *Chamelea gallina*. Instituto Superiore di Sanità. Roma, Italia. 415- 421.
- Watkins, W. D. y V. C. Cabelli, 1985.** Effect of fecal pollution on *Vibrio parahaemolyticus* densities in an estuarine. *Appl. Environ Microbiol.*, 49 (5) : 1307 - 1313.
- Wood, P. C., 1961.** The production of clean shellfish. *Royal Society of Health Journal*, 81(3): 72-83.
- Wood, P. C., 1979.** Public health aspects of shellfish from polluted water, p. 13-17. In: A. James, y L. Evison (Ed.). *Biological Indicators of Water Quality*. John Wiley & Sons. USA.