

Contaminación de origen fecal en el corredor costero Barra de Tonameca-bahía de Puerto Ángel-La Mina, Oaxaca, México

Baruch Figueroa-Zavala *

Resumen

Contaminación de origen fecal en el corredor costero Barra de Tonameca-bahía de Puerto Ángel-La Mina, Oaxaca, México. Se evaluó la variación espacio-temporal en la contaminación de origen fecal del agua subsuperficial marina (ASM), sedimento y tejido blando de moluscos bivalvos (*Spondylus* spp. y *Ostrea* spp.) en la zona costera adyacente a la bahía de Puerto Ángel, de mayo de 2000 a marzo de 2001. Se utilizaron a las bacterias coliformes como indicadores de contaminación orgánica, aplicando la técnica del Número Más Probable (NMP). Se hallaron ciertas correlaciones entre la densidad de coliformes con algunos parámetros fisicoquímicos, aunque poco claras para identificar tendencias. Los resultados en la concentración de coliformes totales (CT) y fecales (CF) en el ASM mostraron a la Barra de Tonameca y la bahía de Puerto Ángel como los puntos más contaminados en temporada de lluvias; en temporada de secas no fueron registradas altas concentraciones bacterianas. El análisis de CT y CF en tejido de bivalvos identificó altas concentraciones en las localidades de Puerto Ángel y La Mina; se registraron altas concentraciones, que exceden los límites de legales para CF, en casi todos los organismos recolectados en ambas

Abstract

Fecal-source contamination within the coastal corridor Barra de Tonameca-Puerto Ángel Bay-La Mina, Oaxaca, México. *Space-time variability of fecal-source contamination in subsurface sea water (SSW), sediments, and in soft tissue of bivalves (*Spondylus* spp. and *Ostrea* spp.) was evaluated within the coastal zone nearby to Puerto Ángel Bay, from May 2000 to March 2001. Coliform bacteria were used as indicator of fecal pollution, applying the Most Probable Number technique (MPN). Certain correlation between coliform bacteria concentrations with physical and chemical parameters was observed, though not quite clear ones as to let us infer tendencies. The total coliform (TC) and fecal coliform (FC) concentrations in SSW pointed that the sampling stations located in Barra de Tonameca and Puerto Ángel Bay were those which showed the highest contamination levels during rainy season. There were no high bacteria concentrations registered for the dry season. The analysis of TC and FC in soft tissue of the bivalves showed high levels of these bacteria, corresponding to Puerto Ángel Bay and La Mina; high FC levels, exceeding the legal limits were found in almost all bivalves collected during both seasons. TC abundance in sediments was high during rainy season,*

Résumé

Contamination d'origine fécale dans le couloir côtier Barra de Tonameca-Puerto Ángel Bay-La Mina, Oaxaca, México. *On a évalué la variation spatio-temporelle de la contamination d'origine fécale de l'eau marine sub-superficielle (EMS), des sédiments et des tissus mous des mollusques bivalves (*Spondylus* spp. et *Ostrea* spp.) dans la zone côtière adjacente à la baie de Puerto Ángel, Oaxaca, México, de mai 2000 à mars 2001. Les bactéries coliformes ont été utilisées comme indicateurs de contamination organique, en appliquant la technique de du Nombre le Plus Probable (NPP). Certaines corrélations ont été obtenues entre la densité de coliformes et quelques paramètres physico-chimiques, cependant elles ne sont pas suffisamment claires pour identifier des tendances. Les résultats de la concentration totale en coliformes (CT) y fécale (CF) dans le EMS ont montré que Barra de Tonameca et la baie de Puerto Ángel étaient les points les plus contaminés en saison des pluies; durant la saison sèche, il n'a pas été enregistrée de haute concentration bactérienne. L'analyse CT et CF des tissus de bivalves a identifiées des hautes concentrations dans les localités de Puerto Ángel et La Mina; Il a été enregistrées des concentrations excédant les limites de législation de la CF dans presque tous les*

* Universidad del Mar, campus Puerto Ángel, carretera Puerto Ángel-Zipolite km 1.5, Puerto Ángel, Oaxaca, 70902, México.
Dirección actual: El Colegio de la Frontera Sur, Av. del Centenario km 5.5, Chetumal, Quintana Roo, 77000, México.
Teléfono: (983) 8350440.
Correo electrónico: aragorn_bfz@yahoo.com.mx

temporadas y en ambas especies de bivalvos, probando acumulación bacteriana en sus tejidos. El sedimento registró las mayores concentraciones de CT en la bahía de Puerto Ángel en lluvias; en secas las concentraciones disminuyeron notablemente. Las concentraciones de CF en temporada de lluvias sobrepasaron los límites legales para aguas recreativas en todos los sitios de muestreo, siendo Puerto Ángel el sitio más contaminado. En temporada de secas, las densidades de CF en el sedimento fueron reducidas, con excepción del muelle de Puerto Ángel y en Estacahuite. Con base en los resultados, se recomienda el establecimiento de un sistema de drenaje y tratamiento de las aguas negras de la zona, para evitar consecuencias posteriores de salud pública y sobre el medio ambiente.

particularly in the stations of Puerto Ángel Bay. For dry season the concentrations diminished notably. Regarding the FC, it was found that during the rainy season, all the sampling stations exceeded the maximum legal limits established for recreational waters, mostly Puerto Ángel station. For dry season the bacteria density diminished in all sampling sites but at Puerto Ángel and Estacahuite. Based in these results, the setting up of an efficient sewer system and a depuration plant for sewage waters is recommended in order to avoid further public health problems and significant environmental consequences.

organismes collectés durant les deux saisons et pour les deux espèces de bivalve, démontrant une accumulation bactérienne dans leurs tissus. Les sédiments ont montré les plus grandes concentrations en CT dans la baie de Puerto Ángel en saison des pluies; en saison sèche les concentrations ont diminué notablement. Les concentrations de CF en saison des pluies ont dépassées les limites des législations pour les eaux récréatives dans tous les points du site d'échantillonnage le plus contaminé: Puerto Ángel. En saison sèche, les densités de CF dans les sédiments se sont réduites, à l'exception du môle de Puerto Ángel et Estacahuite. Fort des résultats obtenus, il est recommandable d'établir un système de drainage et de traitement des eaux usées de la zone, ceci pour éviter les conséquences postérieures dans la santé publique et dans l'environnement.

Palabras clave: Bacterias entéricas, bivalvos, coliformes, sedimento, agua marina.

Key words: Bivalves, enteric bacteria, coliform, marine water, sediments.

Mots clefs: Bactéries entériques, bivalves, coliformes, eau marine, sédiments.

Introducción

La interface tierra-agua a lo largo de zonas costeras desarrolladas y en vías de desarrollo representa regiones clave donde la integridad de las funciones naturales de los ecosistemas puede verse comprometida (Mallin *et al.* 2000). Los ecosistemas costeros se encuentran bajo gran estrés producto de una variedad de actividades humanas que causan contaminación, reducción de la biodiversidad, así como alteraciones físicas del medio ambiente (Vitousek *et al.* 1997).

Las descargas de aguas residuales en los mares producen un impacto negativo en el ambiente costero y el menoscabo de la calidad del agua para actividades tales como la maricultura y la recreación (Fiksdal *et al.* 1994), dado que estas aguas son portadoras de una

amplia gama de microorganismos patógenos (Ronsón-Paulín & Ortiz-Arellano 1993, Mallin *et al.* 1998, Fong & Lipp 2005) tales como bacterias coliformes, *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio*, así como virus y protozoarios (Toze 1997). Estos patógenos provocan enfermedades intestinales como son la fiebre tifoidea, el cólera, la disentería bacilar e infecciones, principalmente cutáneas (Bensen 1994, Anónimo 1999a).

El grupo bacteriano coliforme representa a los bioindicadores de contaminación orgánica mejor caracterizados (Ford & Colwell 1996, Rees *et al.* 1998, Feng *et al.* 1998), e incluyen a las coliformes totales (CT) y a las coliformes fecales (CF); estas últimas corresponden a bacterias que provienen exclusivamente del tracto intestinal del hombre y animales de

sangre caliente (Marchman 2000).

Se ha documentado que en el agua de mar la sobrevivencia de las enterobacterias es precaria y con tendencia a desaparecer totalmente, pero en presencia de materia orgánica finamente particulada pueden experimentar multiplicación (Guinea *et al.* 1979, Colwell *et al.* 1985, Mallin *et al.* 2000). Se sabe que en ocasiones sólo se encuentran inactivas, como producto de modificaciones estructurales y fisiológicas, que permiten a las bacterias no formadoras de esporas permanecer en un ambiente hostil en estado de latencia (Grimes 1991).

Organismos filtradores como los moluscos bivalvos pueden acumular gran cantidad de microorganismos patógenos (virus y bacterias) (Frías-Espéricueta *et al.* 1999, Beuret *et al.* 2003, Brands *et al.* 2005). Por lo tanto, si estos moluscos son consumidos crudos y con una escasa o nula cocción, se convierten en un riesgo potencial para la salud humana (Noble 1990, Normanno 2006).

Se ha sugerido que el sedimento es otro biotopo que puede proveer un ambiente favorable para la sobrevivencia de microorganismos de procedencia fecal en cuerpos de agua continentales y costeros (Davies 1995, Howell *et al.* 1996, Desmarais *et al.* 2002), los cuales aún en estado viable, por acción del oleaje y las corrientes, son resuspendidos a la columna de agua, aumentando de manera considerable la densidad de las bacterias en áreas de uso recreativo (Gruber *et al.* 2005).

La costa del Pacífico sur de México está caracterizado por la presencia de asentamientos humanos mal planificados: en la zona de estudio, los centros de población carecen de sistemas de drenaje y plantas tratadoras de aguas residuales, siendo la fosa séptica el principal receptáculo de desechos (Anónimo 1993a).

En esta investigación se cuantifica la concentración de CT y CF en el agua sub-superficial marina (ASM), sedimento y moluscos bivalvos de importancia comercial del área de estudio, se determinan los sitios

donde se exceden los límites máximos de concentración de bacterias CF según la Norma Oficial Mexicana (NOM) y se analiza la posible relación entre los factores físicos, químicos y meteorológicos con respecto a la densidad bacteriana presente en los tres biotopos estudiados.

Material y métodos

El área de estudio se situó en la región costera comprendida entre los poblados de Barra de Tonameca y La Mina, Oaxaca, México (Fig. 1), dentro de las coordenadas geográficas 15°40'8" N y 96°37'-96°28' O (Anónimo 1993a).

Para la toma de datos fueron llevados a cabo muestreos mensuales, efectuados entre mayo del 2000 a marzo del 2001, abarcando las épocas de lluvias, nortes y secas, ya que se ha documentado que el pulso de la variación estacional de las bacterias se encuentra fuertemente influenciado por tales épocas (Lizárraga-Partida *et al.* 1986). Se ubicaron ocho estaciones de muestreo a lo largo de la línea costera, relativamente cercanas a los puntos de asentamientos humanos en la región y una estación testigo ubicada aproximadamente a 3.6 km mar adentro que, por su lejanía, se supone libre de contaminación fecal (Romero & Rodríguez 1982, Orozco-Borbón & Gutiérrez-Galindo 1983). Tales estaciones fueron agrupadas en cuatro zonas, atendiendo a su proximidad, con el fin de utilizar dos estaciones como réplicas para una misma zona (Figura 1).

En cada estación fueron tomadas muestras de agua sub-superficial marina (ASM). En todas las estaciones se midió el valor del pH (con un potenciómetro OAKTON serie 31045, precisión de ± 0.5), la concentración de oxígeno disuelto, la salinidad, la temperatura (con un dispositivo de medición multiparámetro YSI modelo 85/10ft) y la transparencia del ASM (con un disco de Secchi). Los datos de insolación y precipitación fueron obtenidos de la estación meteorológica de la Secretaría de Marina en Puerto Ángel.

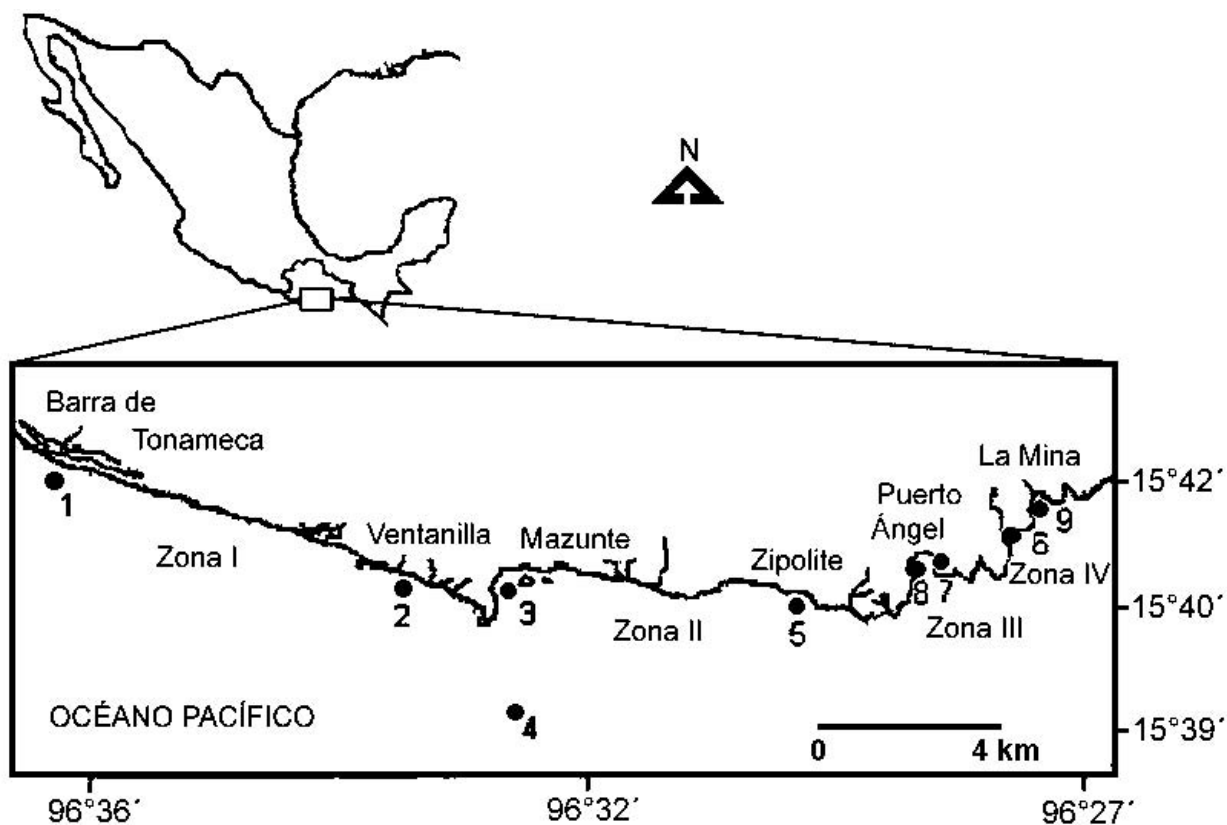


Figura 1. Localización geográfica de la Bahía de Puerto Ángel y las estaciones de muestreo.

Se recolectaron moluscos de importancia comercial como el ostión de piedra (*Ostrea* spp.) y el callo margarita (*Spondylus calcyfer*), de talla comercial (>9 cm), en los sitios de Mazunte, Puerto Ángel y La Mina, a una profundidad comprendida entre 2 y 10 m mediante buceo SCUBA y una barreta. La recolecta de sedimento se realizó en todas las estaciones con una draga Van Veen, a excepción de la estación testigo, cuya profundidad impidió la toma de muestras.

Todas las muestras por analizar se preservaron en bolsas estériles a 4-10°C, en las primeras seis horas posteriores a la recolecta, para su procesamiento en laboratorio. Las muestras de agua se homogeneizaron perfectamente y se adicionó 10 ml de cada muestra a 90 ml de solución reguladora de fosfatos de pH 7.2, constituyendo una dilución 1:10. Se realizaron tres diluciones decimales seriadas 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} .

Para moluscos bivalvos fue necesario realizar la limpieza y remoción de la concha; se homogeneizaron perfectamente 200 g de tejido y líquido intervalvar. A 10 g de la muestra homogeneizada se les agregó 90 ml de solución amortiguadora de fosfatos de pH 7.2, constituyendo la dilución 1:10 (Anónimo 1982, Anónimo 1989a). Para el sedimento se siguió el mismo procedimiento de dilución, utilizando 100 g de muestra.

La determinación de coliformes se llevó a cabo siguiendo la técnica de tubos de fermentación múltiple en un medio de cultivo líquido conteniendo lactosa, cuyos resultados son registrados en término del Número Más Probable (NMP) de organismos presentes, basado en fórmulas de probabilidad que proporcionan una estimación de la densidad de coliformes totales en la muestra (Anónimo 1989a, Feng *et al.* 1998).

Para todos los biotopos se calculó la razón

coliformes totales/coliformes fecales (CT:CF) por época y por estación. Esta razón es una proporción que se utiliza para determinar el porcentaje de contaminación fecal de una localidad; ésta se obtuvo dividiendo la media de la concentración fecal anual de una estación entre la media de la concentración de CT de dicha estación (Orozco-Borbón & Delgadillo-Hinojosa 1989).

Se realizó la estadística básica, verificando la normalidad de los datos con la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov (K-S) (Zar 1999) y de homogeneidad de varianza dentro de los tratamientos con la prueba de homocedasticidad de Bartlett (Sokal & Rohlf 1995). Las muestras analizadas no presentaron una distribución normal según la prueba Kolmogorov-Smirnov; por ello, se aplicó a los datos una transformación tipo $\log(x+1)^2$ (Underwood 1997) para remover la heterogeneidad de varianzas. La significancia de las diferencias en los tratamientos fue determinada mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de medidas repetidas (RMS), utilizando pruebas a posteriori HSD de Tukey, para controlar el error de la comparación múltiple (Sokal & Rohlf 1995). Adicionalmente, se efectuó una prueba de correlación de Pearson para probar la asociación entre la densidad de las bacterias y los parámetros ambientales (Marqués 1991, Zar 1999). Para todos los casos fue empleado el programa STATISTICA, bajo un nivel de significancia nominal de 5%.

Resultados

Parámetros físicos, químicos y meteorológicos y su relación con los coliformes

La variación temporal de estos parámetros se muestra en la Tabla I. Fueron identificadas algunas correlaciones positivas para las concentraciones de CT: en ASM con la precipitación (Pearson $r=0.386$, $p=0.000$); en sedimento con la precipitación ($r=0.576$, $p=0.000$) y con el pH ($r=0.346$, $p=0.013$). Por otro lado, fueron halladas correlaciones

negativas de CT en ASM con la transparencia ($r=-0.292$, $p=0.009$) y con la insolación ($r=-0.366$, $p=0.00$). Con respecto a las CF, hubo correlaciones positivas en ASM con la precipitación ($r=0.470$, $p=0.000$), con el pH ($r=0.229$, $p=0.047$) y con la temperatura ($r=0.241$, $p=0.036$); y correlaciones negativas con la insolación ($r=0.281$, $p=0.026$); en sedimento, las CF correlacionaron positivamente con la precipitación ($r=0.546$, $p=0.000$) y de forma negativa con la insolación ($r=-0.339$, $p=0.000$) y la salinidad ($r=-0.281$, $p=0.013$).

Bacterias coliformes en ASM

En la temporada de lluvias (mayo-octubre) se observaron concentraciones máximas de 1,100 CT 100 ml⁻¹ y de 1,500 CF 100 ml⁻¹ registradas en Barra de Tonameca y el muelle de Puerto Ángel, respectivamente. En la temporada de secas (noviembre-abril), los máximos de concentración bacteriana fueron de 1,100 CT 100 ml⁻¹, detectadas en las estaciones de Ventanilla, muelle de Puerto Ángel y la Base Naval de Puerto Ángel. Con respecto a las CF, también pudieron detectarse diferencias entre temporadas: en lluvias, con valores máximos de 1,100 y 1,500 CF 100 ml⁻¹ para Barra de Tonameca y el muelle de Puerto Ángel; en temporada de secas la densidad máxima registrada fue de 75 CF 100 ml⁻¹ en Mazunte (Tabla II, Fig. 2). La prueba de ANDEVA aplicada a los CT en ASM encontró diferencias significativas: entre zonas II y III (ANDEVA $p=0.028$), entre zonas III y IV ($p=0.017$) y entre temporadas ($p=0.002$). Para CF no se encontraron diferencias significativas entre estaciones, debido a la variabilidad en los datos, pero sí entre temporadas ($p=0.003$). La razón CT:CF en lluvias mostró valores altos en las estaciones tres (Mazunte) y cuatro (Testigo), ambas con razón de 1:0.8, seguidas por la siete (Muelle), nueve (Estacahuite) y cinco (Zipolite) con 1:0.7. En temporada de secas, la estación que mostró una proporción elevada fue la cuatro (Mazunte) con 1:0.9 CT:CF.

Bacterias coliformes en moluscos bivalvos

En este biotopo fueron halladas concentraciones muy elevadas de bacterias coliformes (Tabla II, Fig. 3). En la temporada de lluvias las CT registraron una concentración más alta de 11,000 CT 100g⁻¹ correspondiente a la estación de Puerto Ángel; en la temporada de secas, las mismas concentraciones máximas (11,000 CT 100 g⁻¹) correspondieron a La Mina y Puerto Ángel. Con respecto a las CF, en la temporada de

lluvias el valor máximo fue de 11,000 CF 100 g⁻¹ (Puerto Ángel) y el mínimo mostró 70 CF 100 g⁻¹ (La Mina). En temporada de secas las concentraciones máximas fueron halladas en los bivalvos de La Mina, con 11,000 CF 100 g⁻¹. La razón CT:CF mostró la mayor contaminación de tipo fecal para la temporada de lluvias en los moluscos de Mazunte, con una razón de 1:0.8. En temporada de secas la más alta fue para la localidad de la Mina con 1:0.9. La prueba ANDEVA aplicada a las medias de las concentraciones de moluscos

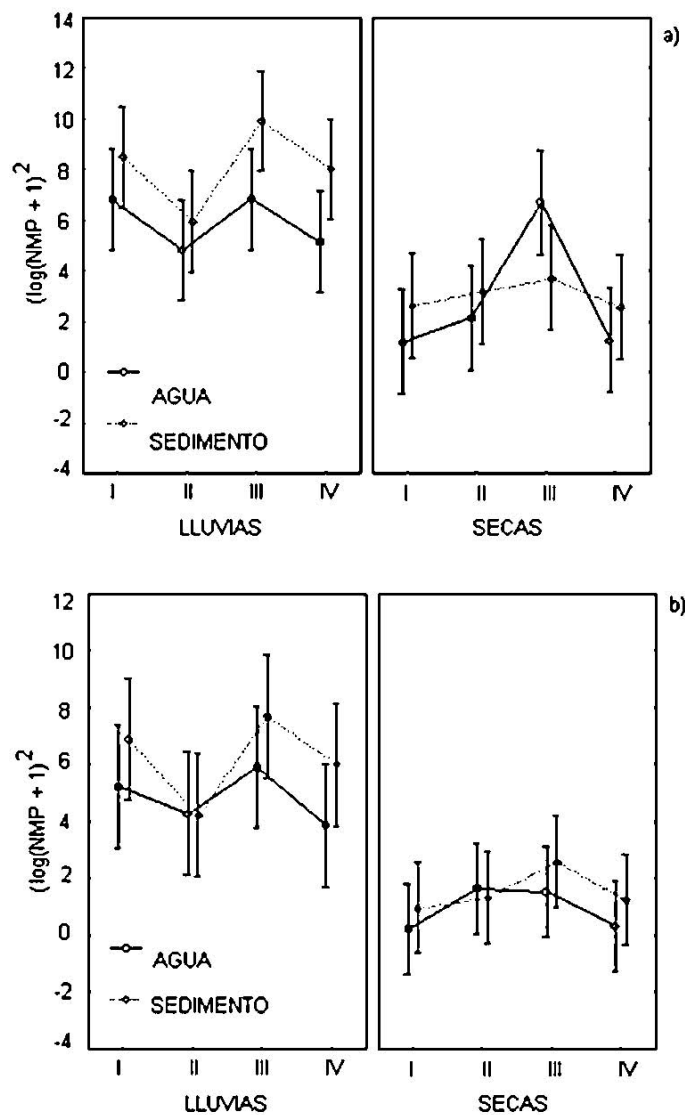


Figura 2. Concentración de bacterias coliformes (a) totales y (b) fecales en agua y sedimento [$\log(\text{NMP } 100 \text{ ml}^{-1} \text{ y g}^{-1}) + 1]^2$, por zona (I-IV) y por época (lluvias-secas) durante el periodo 2000-2001.

Tabla I. Lecturas de la transparencia (m), pH, oxígeno (mg l⁻¹), temperatura (°C), salinidad (UPS), precipitación (mm) e insolación (h) en la franja costera adyacente a Puerto Ángel, Oaxaca.

Parámetro	Meses de muestreo									media anual
	may	jun	jul	ago	sept	oct	dic	ene	mar	
Transparencia (m)	6.00	5.17	5.78	9.56	7.11	5.92	6.44	6.11	5.89	6.44
pH	8.05	7.88	8.55	8.28	8.05	8.10	7.78	7.95	8.05	8.07
Oxígeno (mg l⁻¹)	6.13	6.05	6.16	6.12	6.15	5.63	5.77	6.05	6.76	6.09
Temperatura (°C)	29.80	30.08	29.09	25.52	27.07	29.19	27.39	26.17	26.14	27.83
Salinidad (UPS)	33.68	31.11	33.20	32.91	31.98	30.22	32.76	33.00	32.98	32.43
Precipitación (mm)	221.9	220	122.3	110	145	78.1	3	0.3	0	100.06
Insolación (h)	191.6	142.9	260.2	251.4	78	275.5	290	181.7	297.2	224.81

bivalvos no mostró diferencias estadísticas significativas entre los dos tipos de bacterias, ni entre épocas ni entre las localidades de recolecta.

Bacterias coliformes en sedimento

En temporada de lluvias fueron hallados valores máximos de 2,400 CT 100 g⁻¹ correspondiendo a la estación de Puerto Ángel. En temporada de secas la concentración máxima fue de 430 CT 100 g⁻¹ en Mazunte. Las CF, en temporada de lluvias, registraron una máxima densidad de 1,100 CF 100 g⁻¹ en Barra de Tonameca. En temporada de secas, las densidades disminuyeron, registrándose 110 CF 100 g⁻¹ en el muelle de Puerto Ángel (Tabla II, Fig. 2).

La razón CT:CF en temporada de lluvias mostró una proporción elevada de materia fecal, con 1:0.8 en la estación seis (La Mina) y

de 1:0.7 en la estación uno (Barra de Tonameca). En temporada de secas, las estaciones dos (Ventanilla) y siete (Muelle) mostraron una razón de 1: 0.6. No se obtuvieron diferencias significativas para CT entre zonas, pero sí entre temporadas (ANDEVA p= 0.000). Para CF, sucedió el mismo caso (p= 0.001). Además, se encontraron diferencias significativas al analizar las densidades de coliformes fecales entre los biotopos de ASM y sedimento (ANDEVA p=0.006).

Discusión

Aunque la relación entre las bacterias coliformes y los factores ambientales no ha sido entendida del todo, se ha registrado que su abundancia en los sistemas costeros se halla regulada principalmente por el efecto sinérgico resultante entre la luz solar, la

Tabla II. Concentraciones de bacterias CT y CF registradas (NMP 100 ml-1 o g-1) por época en los biotopos estudiados; entre paréntesis se muestran los números de las estaciones (est) de muestreo a las que refiere cada valor.

Biotopo	Muestreo		Época de lluvias				Época de secas				Límites rebasados	
	Grupos bacterial	Sitios	Meses	Mín (est)	Máx (est)	Media	Mediana	Mín (est)	Máx (est)	Media	Mediana	Mes (est)
Agua	CT	9	9	0	1500	289	90	0	1,100	100	9	may (9) jun (1,5,8)
				(4)	(7)			(1,2,4,5,6,9)	(2,7,8)			jul (5,7,8)
												ago (1)
Agua	CF	9	9	0	1500	174	40	0	460	10	4	sep (1,4,7)
				(4)	(7)			(1,2,3,4,5,6,9)	(2)			oct (1, 2)
												límite: < 240 CF 100 ml ⁻¹
CT:CF		9	9	1: 0.3	1: 0.8		1: 0.0	1: 0.9				
			(6)	(3, 4)		(4,7,8)	(3)					
Moluscos	CT	3	6	70	11,000	2,772	1,500	40	11,000	3,571	900	jul (9, 8) ago (8)
				(9)	(8)			(4)	(9, 8)			oct (9, 8, 4)
Moluscos	CF	3	6	70	11,000	1,922	1,200	0	11,000	1,811	400	dic (9, 8, 4) ene (9, 8)
				(9)	(8)			(4)	(9)			límite: < 230 CF 100 g ⁻¹
CT:CF		3	6	1: 0.2	1: 0.8		1: 0.0	1: 0.9				
			(8)	(4)		(4)	(9)					
Sedimento	CT	8	7	0	2,400	816	530	0	430	67	40	
				(1,9)	(2,7)			(1,2,3,5,6,8)	(3)			
Sedimento	CF	8	7	0	1,100	369	230	0	110	22	0	No existen límites
				(1,2,3,9)	(1)			(1,2,3,5,6,8,9)	(7)			
CT:CF		8	7	1: 0.2	1: 0.8		1: 0	1: 0.6				
			(5,9)	(6)		(1,3,6)	(2,7)					

temperatura, la salinidad y el pH (Fujioka et al. 1981, Rodríguez & Romero 1981, Burckhardt et al. 1992, Solic & Krstulovic 1992, Pommepuy et al. 1996), aunque algunos autores como Carlucci & Pramer (1985), Solic & Krstulovic (1992) y De Donno et al. (2000), se refieren a la salinidad como un parámetro particularmente importante en la persistencia de estas bacterias. De igual manera, se ha visto que la precipitación pluvial juega un papel muy importante en los procesos de dispersión bacteriana, siendo un factor meteorológico que propicia la difusión de la contaminación de

tipo fecal en las áreas costeras, arrastrando material terrígeno con contaminantes (Rodríguez & Romero 1981, Anónimo 1985, Bitton & Harvey 1992, Tinoco 1996).

Este estudio identificó correlaciones positivas entre la densidad de ambos tipos de bacterias con la precipitación, tanto en ASM como en sedimento, así como correlaciones negativas de las densidades bacterianas en ASM con la insolación, concordando con algunas de las apreciaciones de los autores mencionados. A pesar de que también fueron halladas ciertas correlaciones estadísticamente

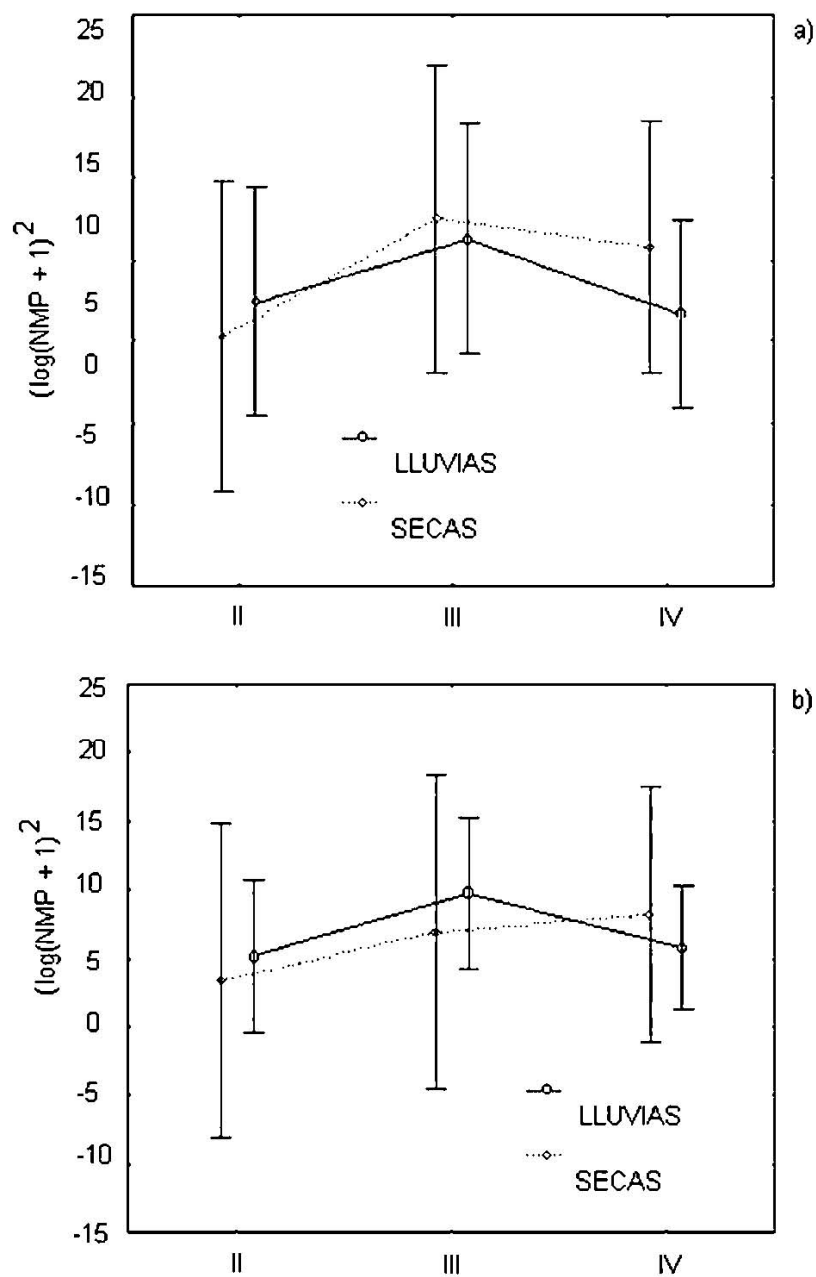


Figura 2. Concentración de bacterias coliformes (a) totales y (b) fecales en moluscos bivalvos por zona (II-IV) y por época (lluvias-secas) durante el periodo 2000-2001.

significativas entre la densidad de bacterias en los biotopos de ASM y sedimento con parámetros químicos del agua marina, éstas no ocurrieron de manera muy clara y comparable entre ambos grupos coliformes, por lo que no resultan ecológicamente muy contundentes.

Cabe mencionar que los muestreos no fueron realizados siempre en marea alta, y es

muy posible que las lecturas de los parámetros estuviesen muy influenciadas por eventos de lluvia inmediatos y anteriores a la toma de datos. Para lograr un análisis más preciso sería necesario llevar a cabo monitoreos más continuos en el tiempo, principalmente en la temporada de lluvias, cuando existe mayor variabilidad en la química del agua marina. De

igual manera cabría conjugar el análisis microbiológico con evaluaciones más finas sobre su relación con tales factores y con datos oceanográficos, para establecer la dinámica de las corrientes marinas y por ende los patrones de circulación y dispersión de los contaminantes (escasos para la zona de estudio).

En moluscos bivalvos no fue registrado algún tipo de asociación entre bacterias y parámetros ambientales; al parecer, las bacterias adsorbidas en los tejidos de bivalvos se protegen de la influencia de la radiación, la alta salinidad y otros agentes que contribuyen a su muerte (Davies *et al.* 1995).

La densidad de las bacterias coliformes en agua sub-superficial, además de estar determinada por la precipitación en términos de arrastre de material orgánico continental, probablemente está determinado también por la influencia de los asentamientos humanos, en términos de la magnitud de los aportes de materia orgánica. Las altas densidades de bacterias registradas en las zonas I y III en lluvias, corresponden a las zonas conteniendo los principales núcleos de desarrollo. Para secas, la densidad de bacterias disminuyó, con excepción de las estaciones de la zona III. La alta densidad de coniformes en ésta localidad podría ser atribuida principalmente a dos factores: el primero sería el aporte constante de material orgánico antropogénico por la población local y a la afluencia turística (Puerto Ángel es la principal zona urbana en la zona); el segundo sería el gran vertimiento de desechos a la bahía por las pesquerías ribereñas. El número de bacterias coliformes varía de acuerdo al grado de contaminación orgánica del agua (Guinea *et al.* 1979) y al grado de disponibilidad de materia orgánica particulada para adsorción de las bacterias (Rheinheimer 1987, Mallin *et al.* 2000).

El fenómeno de incremento en las concentraciones de bacterias en el ASM durante la época de lluvias en aguas de la bahía de Puerto Ángel y algunas zonas aledañas (Estacahuite y Zipolite) ya había sido descrito anteriormente por Huante-González

(1997), quien debido al hallazgo de concentraciones mayores a 1,100 CF 100 ml⁻¹, estableció que el contacto humano con tales aguas podía representar un riesgo para la salud pública, riesgo que tendía a incrementarse debido al aumento en el flujo de las aguas residuales producto del crecimiento urbano.

Cabe destacar que los centros de población mencionados anteriormente están asociados a los principales ríos y arroyos, los cuales reciben constantes descargas de aguas residuales e incrementan su caudal con las lluvias, arrastrando consigo gran cantidad de materiales y ejerciendo un impacto en las aguas costeras (Anónimo 1993a). Al respecto, nuestro país ha generado criterios y la Norma Oficial Mexicana (NOM) para establecer los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, tomando a las coliformes fecales como indicador. El límite máximo de conteo de coliformes en aguas de recreación con contacto directo, ya sean dulces o marinas, establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCE-CCA-001-1989 (Anónimo 1989b) es de menos de 200 CF 100 ml⁻¹; la NOM-001-ECOL-1996 (Anónimo 1996) señala que en la calidad de las descargas a cuerpos receptores de propiedad nacional (ríos, embalses naturales y aguas costeras), se considera un límite permisible de 1,000 NMP 100 ml⁻¹; en tanto que en la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 (Anónimo 1999b) se considera que en el agua para uso y consumo humano no debe estar del todo presente este grupo bacteriano. Por su parte, el límite máximo de concentración de coliformes establecido para moluscos (NOM-031-SSA1) es de <230 CF 100 g⁻¹ (Anónimo 1993b).

En las localidades de Barra de Tonameca y Puerto Ángel, el conteo de coliformes en el ASM rebasó el límite establecido por los criterios ecológicos hasta por más de cinco órdenes de magnitud. De igual modo, es importante destacar que la misma estación testigo rebasó dicho límite a finales de la

temporada de lluvias, en septiembre. Este fenómeno pudiera ser el resultado del aporte continuo de material orgánico al mar por cuatro meses, generado por la temporada de lluvias y sumado al posible efecto de los vientos provenientes del sur-suroeste conocidos como “nortes”, desplazando parcelas de ASM con altas concentraciones bacterianas rumbo a alta mar; sin embargo, esta afirmación no es contundente dado que no fueron registradas la dirección y la velocidad de los vientos imperantes, los cuales pudieran ayudar a explicar sobre el desplazamiento de 2 km mar adentro de aguas con alta carga bacteriana. No obstante, la magnitud de las concentraciones de bacterias por encima de la NOM-001-ECOL-1996 en las principales localidades debería alertar a las autoridades municipales, dado que son las responsables de monitorear y controlar las descargas de las aguas residuales en la región así como los caudales pluviales excedentes.

Los moluscos bivalvos acumulan bacterias coliformes en sus tejidos, como fue visto al hallar altas concentraciones bacterianas en ambas épocas del año. Al analizar el tipo de bacterias en estos moluscos se observó la misma concentración de CT y CF, demostrando que la contaminación en el tejido de estos bivalvos era de origen entérico (Tinoco 1996). Se destaca que del número total de muestras analizadas, casi el 70% sobrepasó el límite de la NOM-031-SSA1, por lo que tal recurso alimenticio debe ser considerado peligroso para el consumo humano (Burkhardt *et al.* 1992, Freire-Santos *et al.* 2000). La concentración de bacterias en los bivalvos se mantuvo por los mismos niveles durante lluvias y secas sin diferir significativamente entre las localidades de recolecta. Estos resultados pudieran ser atribuidos para Puerto Ángel, además de lo comentado anteriormente, a la adición de gran cantidad de materia orgánica proveniente de los desechos de pesquerías ribereñas; para La Mina a su condición de bahía semi-cerrada, dado que el nivel de contaminación de los bivalvos está relacionado directamente con la

carga bacteriológica registrada en el agua y con la permanencia de dicha carga (Rosas *et al.* 1985).

Algunas investigaciones sobre bacterias han registrado mayores concentraciones en sedimento que en agua superficial (Elmanama *et al.* 2005). Este biotopo puede proveer un ambiente favorable para la sobrevivencia de organismos de procedencia fecal porque la cantidad de los nutrientes disponibles para las bacterias parece ser suficiente y, por ello, una proporción significativa de células como *Escherichia coli* puede adaptarse momentáneamente a estas condiciones (Davies 1995). Tal aseveración se refleja en los resultados obtenidos en el presente estudio: las concentraciones de bacterias adsorbidas en el sedimento en época de lluvias fueron generalmente mayores que las contabilizadas en el ASM.

De igual manera que en el ASM, las zonas I y III registraron las densidades bacterianas más elevadas. La zona I se caracteriza por tener un oleaje fuerte, y tal vez exista un proceso continuo de mezcla entre la zona de transición fondo-columna de agua, que hace que estos microorganismos sean re-suspendidos aumentando de manera considerable la densidad de las bacterias en el agua (Grimes 1975, Delgadillo-Hinojosa & Orozco-Borbón 1987). La zona III corresponde a la bahía de Puerto Ángel; Zobell (1985) ha señalado que la concentración de bacterias en el sedimento es mayor en muelles y zonas cercanas a descargas fluviales y antropogénicas que en mar abierto. Se piensa que las altas concentraciones correspondientes a Puerto Ángel en temporada de secas fueron posiblemente un efecto de la afluencia turística.

En general, la densidad de los coliformes adsorbidos en el sedimento fue disminuyendo conforme aminoraba la precipitación pluvial; Rheinheimer (1987), Pommepuy *et al.* (1992) y Howell *et al.* (1996) mencionan que la presencia de material particulado en suspensión produce un efecto favorable a las bacterias, puesto que se crean micro ambientes protectores contra las acciones de los factores

fisicoquímicos del agua marina. La legislación ambiental de México no contempla límites máximos permisibles para bacterias indicadoras en este biotopo; sin embargo, debe considerarse que la interfase sedimento-agua no es un sistema estático y las bacterias presentes pueden ser re-suspendidas al agua por efecto de las mareas y corrientes, y ser transportadas a zonas de uso recreativo, cultivo y/o extracción (Delgado-Hinojosa & Orozco-Borbón 1987).

Las concentraciones de bacterias coliformes fecales encontradas en los biotopos estudiados pueden explicarse básicamente como el producto de las descargas residuales antropogénicas urbanas y suburbanas, acentuadas por los grandes flujos de precipitación pluvial, la afluencia turística y el vertimiento de los desechos de la pesca ribereña. Por ello, se recomienda lo siguiente:

1. El establecimiento de sistemas de drenaje y tratamiento de agua eficientes que incorporen los volúmenes de escurrimiento pluvial, principalmente en Barra de Tonameca, Puerto Ángel y La Mina, así como la instauración de un programa apropiado de monitoreo de contaminantes.

2. El establecimiento de límites permisibles en la legislación sanitaria para el sedimento, en función de su interacción con el agua marina y con los productos marinos de consumo.

3. Dar continuidad y seguimiento a las investigaciones de microbiología marina de manera interdisciplinaria, para evitar que la contaminación de esta región alcance niveles críticos como es el caso de otras zonas del sur de México.

Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias al apoyo financiero del fondo Sistema de Investigación Benito Juárez (SIBEJ). A Yolanda Huante González, José Ángel Ronsón Paulín, Carmen

Alejo Plata, Carlos Medina Reyna, Ivonne Santiago Morales e Isis Camacho Sánchez (UMAR, Puerto Ángel), por su apoyo en la dirección y edición de la tesis de licenciatura. A Héctor García Nava y a los capitanes de embarcación de la UMAR, Heladio y Andrés, por su apoyo en el campo. A Ariane Dor Roques por su traducción del resumen al francés y a dos árbitros anónimos por sus atinados comentarios y correcciones del texto.

Referencias

- Anónimo. 1982. Microorganismos de los alimentos. Técnicas de análisis microbiológico. Acribia, Madrid, 1, 80 pp.
- Anónimo. 1985. Manual de técnicas analíticas de laboratorio para la determinación de parámetros físico-químicos y bacteriológicos en agua y aguas residuales. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, D.F., 301 pp.
- Anónimo. 1989a. Standard methods for examination of water and waste water. American Public Health Association, Washington, D.C., 550 pp.
- Anónimo 1989b. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Instituto Nacional de Ecología. Consultado el 11 de febrero de 2008: www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/191/criterios.html
- Anónimo. 1993a. Plan del centro de población municipal de Puerto Ángel-Zipolite-Oaxaca. Municipio de San Pedro Pochutla, México, 65 pp.
- Anónimo. 1993b. NOM-031-SSA1. Bienes y servicios, productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados. Especificación sanitaria. Norma Oficial Mexicana, Diario Oficial de la Federación, México.
- Anónimo 1996. NOM-001-ECOL-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. Consultado el 11 de febrero de 2008: www.economia.gob.mx/work/normas/noms/1997/001-ecol.pdf
- Anónimo. 1999a. Assessing wastewater options for small communities in Kansas. Kansas Department of Health and Environment, K-State Research and Extension, Midwest Assistance Program, Crawford County Health Department, 35-39 pp.
- Anónimo. 1999b. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Consultado el 10 de febrero de 2008: www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa

- 14.html
- Bensen, H. 1994. Microbiological applications. Wm. C. Brown Publishers, Iowa, 447 pp.
- Beuret, C., A. Baumgartner & J. Schluëpp. 2003. Virus-contaminated oysters: a three-month monitoring of oysters imported to Switzerland. *Appl. Environ. Microbiol.* 69(4): 2292-2297.
- Bitton, G. & R.W. Harvey. 1992. Transport of pathogens through soils and aquifers. *J. Environ. Microbiol.* 5: 103-124.
- Brands, D.A., A.E. Inman, C.P. Gerba, C.J. Maré, S.J. Billington, L.A. Saif, J.F. Levine & L.A. Joens. 2005. Prevalence of *Salmonella* spp. in oysters in the United States. *Appl. Environ. Microbiol.* 71(2): 893-897.
- Burkhardt, W. III, W.D. Watkins & S.R. Rippey. 1992. Seasonal effects on accumulation of microbial indicator organisms by *Mercenaria mercenaria*. *Appl. Environ. Microbiol.* 58(3): 826-831.
- Carlucci, A.F. & D. Pramer. 1985. An evaluation of factors affecting the survival of *Escherichia coli* in sea water. II. Salinity, pH and nutrients. *Applied Microbiology* (8): 247-250.
- Colwell, R.R., P.R. Brayton, O.J. Grimes, D.R. Roszak, S.A. Huq & 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.
- Davies, C.M. 1995. Microbiology. Harper & Row, Maryland, 1562 pp.
- Davies, C.M., J. Long, M. Donald, & N. Ashbolt. 1995. Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 60(1): 1888-1896.
- De Donno, A., F. Bagordo, R. Erroi, D. Liaci, M.T. Montagna & G. Gabutti. 2000. Microbiological monitoring of beach water: old and new parameters. *Annali di Igiene* 12(4): 307-313.
- Delgadillo-Hinojosa, F. & M.V. Orozco-Borbón. 1987. Bacterias patógenas en sedimento de la bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas* 13(3): 31-38.
- Desmarais, T.R., H.M. Solo-Gabriele & C.J. Palmer. 2002. Influence of soil on fecal indicator organisms in a tidally influenced subtropical environment. *Appl. Environ. Microbiol.* 68(3): 1165-1172.
- Elmanama, A.A., M.I. Fahd, S. Afifi, S. Abdallah & S. Bahr. 2005. Microbiological beach sand quality in Gaza Strip in comparison to seawater quality. *Environmental Research* (1): 1-10.
- Feng, P., S.D. Weagant & M.A. Grant. 1998. Bacteriological analytical manual online. 8a ed., Revision A. Chapter 4. U.S. Food and Drug Administration. Consultado el 25 de agosto de 2006: www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-toc.html
- Fiksdal, L., M. Pommepuy, M.P. Caprais & I. Midttun. 1994. Monitoring of fecal pollution in coastal waters by use of rapid enzymatic techniques. *Appl. Environ. Microbiol.* 60(5): 1581-1584.
- Ford, T.E. & R.R. Colwell. 1996. A global decline in microbiological safety of water: a call for action. American Academy of Microbiology, Washington, D.C., 78 pp.
- Fong, T. & E.K. Lipp. 2005. Enteric viruses of humans and animals in aquatic environments: Health risks, detection, and potential water quality assessment tools. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 69(2): 357-371.
- Freire-Santos, F., A.M. Oteiza-López, C.A. Vergara-Castiblanco, E. Ares-Mazás, E. Álvarez-Suárez & O. García-Martín. 2000. Detection of *Cryptosporidium* oocysts in bivalve molluscs destined for human consumption. *Journal of Parasitology* 86(4): 853-854.
- Frías-Espericueta, M.G., M.A. Ortiz-Arellano, J.I. Osuna-López & J.A. Ronsón-Paulín. 1999. Heavy metals in the rock oyster *Ostrea iridiscens* (Filibranchia: Ostreidae) from Mazatlán, Sinaloa, México. *Rev. Biol. Trop.* 47(4): 843-850.
- Fujioka, R., H. Hashimoto, E. Siwak & R. Young. 1981. Effect of sunlight on survival of indicator bacteria in seawater. *Appl. Environ. Microbiol.* 41(3): 690-696.
- Grimes, D.J. 1975. Release of sediment-bound fecal coliforms by dredging. *Appl. Microbiol.* 29: 109-111.
- Grimes, D.J. 1991. Ecology of estuarine bacteria capable of causing human disease: A review. *Estuaries* 14(4): 345-360.
- Gruber, S., L. Aumand & A. Martin. 2005. Sediments as a reservoir of indicator bacteria in a coastal embayment, Mission Bay, California. Weston Solutions, Carlsbad, California, Technical Paper (506): 69 pp.
- Guinea, J., J. Sancho & R. Parés. 1979. Análisis microbiológico de aguas. Omega, Barcelona, 122 pp.
- Howell, J.M., M.S. Coyne & P.L. Cornelius. 1996. Effect of sediment particle size and temperature on fecal bacteria mortality rates and the fecal coliform/fecal streptococci ratio. *J. Environ. Qual.* 25(6): 1216-1220.
- Huante-González, Y. 1997. Contaminación biológica en la bahía de Puerto Ángel. *Ciencia y Mar* 1(2): 39-43.
- Lizárraga-Partida, M.L., R. Carballo, F.B. Izquierdo-Vicuña, L. Wong & R.R. Colwell. 1986. Bacteriología de la Laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol.* Consultado el 11 de julio de 2006: <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1987-1/articulo267.html>
- Mallin, M.A., L.B. Cahoon, J.J. Manock, J.F. Merrit, M.H. Posey, R.K. Sizemore, W.D. Webster & T.D. Alphin. 1998. A four-year environmental analysis of New Hanover County tidal creeks. University of North Carolina at Wilmington, North Carolina, CMSR Report (98-01): 60 pp.
- Mallin, M.A., K.E. Williams, E.C. Esham & R.P. Lowe. 2000. Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. *Ecological Applications* 10(4): 1047-1056.
- Marchman, G.L. 2000. An analysis of stormwater inputs to the Apalachicola Bay. Northwest Florida Water Management District Water Resources, Havana, Florida, Special Report 00-01: 63 pp. Consultado el

- 20 de enero de 2006: www.state.fl.us/nwfwmd/pubs/apal_stormwater_inputs/apalachicola_stormwater_inputs.htm
- Marqués, M.J. 1991. Probabilidad y estadística para ciencias Químico-Biológicas. McGraw Hill, México, D.F., 657 pp.
- Noble, R.C. 1990. Death on the half-shell: the health hazards of eating shellfish. *Perspect. Biol. Med.* 33: 313-22.
- Normanno, G., A. Parisi, N. Addante, N.C. Quaglia, A. Dambrosio, C. Montagna & D. Chiocco. 2006. *Vibrio parahaemolyticus*, *V. vulnificus* and microorganisms of faecal origin in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) sold in the Puglia region (Italy). *Int. J. Food Microbiol.* 106(2): 219-22.
- Orozco-Borbón, M.V. & F. Delgadillo-Hinojosa. 1989. Contaminación fecal en sedimentos superficiales de la bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas* 15(1): 47-62.
- Orozco-Borbón, M.V. & G.E. Gutiérrez-Galindo. 1983. Contaminación fecal costera en la zona del puerto de Ensenada, Baja California. *Ciencias Marinas* 9(1): 27-34.
- Pommepuy, M., J.F. Guillaud, E. Dupray, A. Derrien, F. LeGuyader & M. Cormier. 1992. Enteric bacterial survival factors. *Water Sci. Technol.* 25: 93-103.
- Pommepuy, M., L. Fiksdal, M. Gourmelon, H. Melikechi, M.P. Caprais, M. Cormier & R.R. Colwell. 1996. Effect of seawater on *Escherichia coli* beta-galactosidase activity. *J. Appl. Bacteriol.* 81(2): 174-180.
- Rees, G., K. Pond, K. Johal, S. Pedley & A. Rickards. 1998. Microbiological analysis of selected coastal bathing waters in the U.K., Greece, Italy and Spain. *Water Research* 32: 2335-2340.
- Rheinheimer, G. 1987. Niveles de contaminación bacteriana en dos sistemas fluvio-lagunares asociados a la Laguna de Términos, Campeche. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol.* 8(1): 63-68.
- Rodríguez, H. & J. Romero. 1981. Niveles de contaminación bacteriana en dos sistemas fluvio-lagunares asociados a la Laguna de Términos, Campeche. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol.* 8(1): 63-68.
- Romero, J. & H. Rodríguez. 1982. Niveles actuales de contaminación coliforme en el sistema lagunar del Carmen-Machona, Tabasco. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol.* 9(1): 121-126.
- Ronsón-Paulín, J.A. & M.A. Ortiz-Arellano. 1993. Evaluación de coliformes totales, fecales y metales pesados en el tejido blando de *Ostrea iridescens* (ostión de piedra) en la zona costera Holliday Inn y Cerritos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa (1992-1993). Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa, 85 pp.
- Rosas, I., A. Yela & A. Báez. 1985. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en el ostión (*Crasostrea virginica*) durante su desarrollo y procesamiento en el mercado. *Contaminación Ambiental* (1): 51-64.
- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf. 1995. *Biometry. The principles and practice of statistic in biological research.* 3a ed., W.H. Freeman and Co., Nueva York, 881 pp.
- Solic, M. & N. Krstulovic. 1992. Separate and combined effects of solar radiation, temperature, salinity, and pH on the survival of fecal coliforms in seawater. *Mar. Poll. Bull.* 24(8): 411-416.
- Tinoco, G.D. 1996. Calidad sanitaria del agua y bacterias reductoras de sulfato en sedimento de Bahía Falsa, San Quintín. Tesis de Oceanología. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 56 pp.
- Toze, S. 1997. Microbial pathogens in wastewater. Literature review for urban water systems. Multidivisional Research Program, CSIRO, Australia, Technical Report 1/97: 49 pp.
- Underwood, A.J. 1997. *Experiments in ecology.* Cambridge University Press, Massachusetts, 504 pp.
- Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco & J.M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis.* 4a ed., Prentice Hall, 663 pp.
- Zobell, C.E. 1985. Marine pollution problems in the southern California area. *Scripps Ocean Contr.* (1183): 645-651.

Recibido: 10 de julio de 2007.

Aceptado: 25 de febrero 2008.