

Calidad bacteriológica y desechos sólidos en cinco ambientes costeros de Costa Rica

Vera García¹, Jenaro Acuña-González^{2,3}, José A. Vargas-Zamora^{3,4} & Jairo García-Céspedes^{3,5}

1 Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica; vgarci@carari.ucr.ac.cr

2 Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica

3 Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica; jacuna@racsa.co.cr

4 javargas@carari.ucr.ac.cr

5 jairopoas@gmail.com

Recibido 07-VI-2005. Corregido 25-III-2006. Aceptado 30-IV-2006.

Abstract: Bacteriological quality and beach litter at five coastal marine environments of Costa Rica.

Anthropogenic waste and water bacteriological quality were surveyed twice a year in 2000 and in 2002 at five coastal marine environments in Costa Rica, one in the Caribbean (Moín Bay) and four in the Pacific (Culebra Bay, Gulf of Nicoya, Puntarenas Estuary, Golfito Bay). The most probable number (MPN)/100 mL of coliform bacteria was calculated after incubation series of five test tubes. We collected a total of 14 coastal and two river water samples in the Caribbean, and 32 coastal, nine estuarine and one tap water samples in the Pacific, plus 25 samples investigated for *Escherichia coli* in 2002. We used the means of <200 MPN/100 mL for total coliforms and <100 MPN/100 mL for faecal coliforms, as bacteriological criteria for safe swimming. All following data are geometric means. Golfito Bay was the most contaminated zone, with total coliforms of 51 353 MPN/100 mL in May, 6 243 MPN/100 mL in November 2000; and 5 485 MPN/100 mL in February and 14 102 MPN/100 mL in November 2002. For faecal coliforms, values were 51 353 MPN/100 mL and 1 015 MPN/100 mL in May and November 2000, respectively. In 2002 the values were 923 MPN/100 mL and 7 127 MPN/100 mL in February and November, respectively. The least polluted region was Culebra Bay, with total coliforms of >2 MPN/100 mL in June 2000 and 17 MPN/100 mL in May 2002, and faecal coliforms <2 MPN/100 mL in June 2000 and 4 MPN/100 mL in May 2002. Plastic materials were the most abundant item stranded in all beaches, which in more than 80% of the occasions were between "moderately dirty" to "very dirty". Rev. Biol. Trop. 54 (Suppl. 1): 35-48. Epub 2006 Sept. 30.

Key words: coliform bacteria, *E. coli*, marine debris, marine pollution, Costa Rica, Gulf of Nicoya, Caribbean.

Ante la descarga de aguas servidas y de desechos sólidos en las regiones costeras del mundo, a partir de fuentes puntuales y no puntuales, muchos países han puesto en práctica medidas que tienden a reducir o prevenir la degradación que les provoca este tipo de contaminación (GESAMP 2001), sobre todo en aquellas regiones de importancia turística o que son aptas para el cultivo de moluscos (Romero-López y Suárez-Álvarez 1993, Orozco-Borbón *et al.* 1994). En las naciones en vías de desarrollo, el costo económico de

las plantas de tratamiento de aguas servidas y de los sistemas de reciclaje de desechos, por lo general retardan las acciones tendientes a adquirir, desarrollar y aplicar tecnologías adecuadas. En ocasiones, los compromisos sociales y políticos dificultan la regulación de las actividades que perjudican al medio ambiente; en contraste, muchas organizaciones no gubernamentales (ecologistas y ambientalistas), han ejercido una influencia importante en la promoción del interés y de la atención de las comunidades ante la problemática ambiental.

Los problemas de contaminación por bacterias coliformes, se han atendido en Costa Rica con cierta cautela y desde diversos enfoques (Mora *et al.* 1989, Mora 1991, Acuña *et al.* 1998). Por ejemplo, en las dos ciudades costeras más pobladas, se han hecho esfuerzos para disminuir el número de fuentes puntuales de descarga de aguas servidas: en la ciudad de Limón (costa del Caribe), durante varios años se ha estado construyendo un sistema recolector y emisor submarino que tendrá unos 800 m de longitud, aunque sin retención para tratamientos, y único para todas las aguas servidas de la ciudad, el cual, al momento de escribir este artículo, aún no había sido concluido. Las aguas servidas del sistema de alcantarillado de la ciudad de Puntarenas (costa del Pacífico), son bombeadas hasta una planta de tratamiento primario y luego son descargadas en el Estero de Puntarenas adyacente, en las cercanías del sitio conocido como La Angostura. En el ámbito nacional, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, junto con otras instancias gubernamentales y algunas asociaciones comunales, participa en un programa de vigilancia de la contaminación por bacterias coliformes y otros parámetros en la zona costera; cuando en una playa en particular se satisface una serie de requisitos, como el estar libre de ciertos contaminantes, y en especial que sea bacteriológicamente segura para la natación, se le asigna una bandera azul (Programa Bandera Azul Ecológica), la cual sirve como referencia para los usuarios y esto tiene implicaciones importantes en lo que se refiere a la imagen turística del lugar (Mora-Alvarado 1997).

Por lo general, en los trabajos sobre la calidad microbiológica de las aguas, se ha utilizado al grupo de microorganismos coliformes fecales como un indicador adecuado, debido a que no se multiplican fuera del tracto intestinal de los organismos de los cuales provienen y, si están presentes en el agua, se supone que ha ocurrido contaminación fecal (Wong y Barrera 1996). Entre los primeros estudios que se han efectuado sobre la contaminación por bacterias coliformes en las aguas costeras de Costa Rica, está el de Brunker (1963) en la playa de

Puntarenas. Mora *et al.* (1989), proporcionaron los criterios bacteriológicos nacionales para Costa Rica, luego de analizar los resultados de 50 puntos de muestreo en el Pacífico y 19 en el Caribe costarricense. En ellos se definen tres clases de aguas de mar, identificadas como A, B y C. Las aguas clase A son seguras, bacteriológicamente, para la natación; las de clase B son aptas para la natación, pero están sujetas a inspecciones y análisis periódicos, y las de clase C no son aptas para la natación. A cada una de ellas corresponden promedios geométricos (p_g) de coliformes totales y fecales como número más probable (NMP)/100 mL y un porcentaje de muestras analizadas por año, que no sobrepasen un valor dado de NMP/100 mL. Los valores límites de los p_g son, para la clase A: <200 NMP/100 mL en coliformes totales y <100 NMP/100 mL en coliformes fecales; para la clase B: 200 a 400 NMP/100 mL en coliformes totales y 100 a 240 NMP/100 mL en coliformes fecales, y para la clase C: > 500 NMP/100 mL en coliformes totales y >240 NMP/100 mL en coliformes fecales. Posteriormente, Mora (1991) presentó un diagnóstico sanitario de las aguas costeras del Caribe, en el que empleó como referencia estos límites y Acuña *et al.* (1998) evaluaron el estado de la contaminación en el Estero de Puntarenas.

En cuanto a los desechos sólidos se refiere, la participación de los ciudadanos ha sido esencial para conseguir que se establezcan programas de manejo de desechos a largo plazo. En la zona costera, su recolección por los diferentes municipios no se hace con la frecuencia ni la eficiencia que eviten observar, a lo largo de las carreteras y caminos, la acumulación de desechos que podrían ser arrastrados al mar por la escorrentía. Otro aspecto es la disposición final que se le da a los materiales recolectados, pues es habitual la utilización de botaderos o vertederos cercanos a cuencas que drenan al mar (Arrieta 1994). Las razones económicas y de educación son las que privan en estas situaciones; sin embargo, se ha notado el esfuerzo para llevar a cabo la limpieza de algunos sectores de las playas de importancia turística, como en la playa de Puntarenas.

Durante el período 2000-2003 se ejecutó en el CIMAR el proyecto de investigación titulado *Contaminación Costera en Costa Rica (CoCosRi)* y los resultados aquí presentados fueron obtenidos en ese proyecto. En CoCosRi se evaluaron simultáneamente varios parámetros relacionados con la contaminación marina. De esos parámetros se ha publicado los resultados de los análisis de las concentraciones de bifenilos policlorados en sedimentos costeros (Sponberg 2004), de hidrocarburos de petróleo disueltos y dispersos (Acuña-González *et al.* 2004), y de metales traza en sedimentos (García-Céspedes *et al.* 2004).

Los objetivos de este trabajo fueron conocer el estado de la contaminación por bacterias coliformes en aguas costeras del Caribe y del Pacífico de Costa Rica, en regiones de diferentes características oceanográficas y de diverso uso antrópico, y contribuir con el estado del conocimiento en cuanto a los tipos de desechos sólidos que se depositan en las playas aledañas a las zonas en donde se realizó el estudio bacteriológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bacterias coliformes

Se estableció una red de estaciones de muestreo para determinar la contaminación bacteriológica de las aguas costeras en el Caribe y en el Pacífico de Costa Rica (Fig. 1). En el Caribe se tomaron muestras de agua superficial (<30 cm), dentro de la bahía que protege al muelle de Moín, en la punta del rompeolas y en la desembocadura del río Moín o en su playa adyacente, con una frecuencia de dos veces al año en los años 2000 y 2002. En julio del 2002 se llevó a cabo un muestreo más extensivo, al incluir varios sitios desde la playa de Moín hasta la desembocadura del Kelly Creek, a la entrada del Parque Nacional Cahuita (Cuadro 1). En el Pacífico, las muestras de agua superficial se recolectaron frente a Playa Panamá y a Playa Esmeralda en la Bahía Culebra, en junio del 2000 y en mayo del 2002. En el Golfo de Nicoya se tomaron

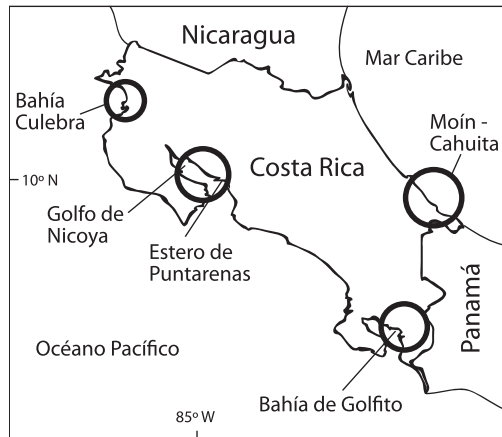


Fig. 1. Ambientes costeros de Costa Rica, en donde se determinó la presencia y densidad de coliformes totales y fecales en el agua, y desechos sólidos en las playas, entre los años 2000 y 2002.

muestras frente a los islotes Cortezas, a la Isla Caballo y a Puntarenas, en abril y septiembre del 2000, y en julio del 2002 se muestreó en una zona más extensa, desde Playa Blanca en las cercanías de las Cortezas, hasta el puerto de Caldera. En mayo del 2000 se tomaron muestras en el Estero de Puntarenas, al igual que en noviembre del 2002. En el Golfo Dulce las muestras se recolectaron dentro de la Bahía de Golfito, principalmente en las cercanías de los muelles Municipal y Nacional, y frente a las instalaciones de la Sede de la Universidad de Costa Rica, en mayo y noviembre del 2000, y en febrero y noviembre del 2002 (Cuadro 1).

Durante los primeros muestreos del año 2000, las muestras se recolectaron empleando botellas de vidrio de 180 mL esterilizadas y etiquetadas. Para el resto de las campañas, se emplearon bolsas plásticas estériles con auto sello y también etiquetadas. En ambos casos, los recipientes se llenaron y rápidamente se les eliminó parte del agua, de manera que quedarán unos 100 mL de agua y espacio libre para agitarlos antes de realizar los análisis. Una vez tapados estos recipientes, se almacenaron dentro de otras bolsas plásticas y se mantuvieron en hielo durante el transporte al laboratorio, para su análisis inmediato. En ninguna ocasión el tiempo entre la toma de la muestra y el inicio

del análisis superó las 12 h. En el año 2002, el estudio se complementó con la determinación de la bacteria *Escherichia coli* en las muestras del Caribe y del Pacífico. Para obtener la densidad de coliformes, se utilizó el método del número más probable (NMP) en 100 mL (APHA 1998). En todos los casos se emplearon 10.0 mL, 1.0 mL y 0.1 mL de la muestra. Cuando la apariencia de la muestra o los antecedentes del lugar muestreado indicaba un número alto de coliformes, se prepararon diluciones decimales apropiadas, generalmente hasta 10^{-6} en botellas con 90 mL de agua peptonada al 0.1%. Para la prueba presuntiva se inocularon series de cinco tubos de caldo lactosado (CL) con campana de Durham. Cuando el inóculo era de 10 mL se utilizó CL de doble concentración; para inóculos de 1.0 mL y menores, se utilizó el CL simple (0.5% de lactosa). De cada dilución decimal se sembró 1.0 mL en cada serie de tubos. Los tubos inoculados se incubaron a $35.0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 y 48 h. Al cabo de la incubación los tubos fueron examinados para detectar la presencia de gas. La prueba confirmativa consistió en inocular, de cada tubo positivo con gas y utilizando un aplicador de madera estéril, un tubo con 10.0 mL de caldo lactosado con bilis y verde brillante (CLBVB), y un tubo con 10.0 mL de caldo EC, ambos con campana de Durham. Los tubos con CLBVB se incubaron a $35.0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 y 48 h, y los tubos con EC a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h. Al final de los períodos de incubación los tubos fueron examinados para observar la presencia de gas. Se anotó el número de tubos positivos en cada serie para luego calcular el NMP de coliformes totales y fecales en 100 mL. Este cálculo de la densidad de los coliformes se llevó a cabo con la utilización de las tablas de valores al nivel de confianza del 95% (APHA 1998). Para cada muestra analizada se tomaron en cuenta todos los tubos positivos en las pruebas confirmadas. En estas pruebas (para coliformes totales y fecales), se anotó el número de tubos positivos en cada serie de cinco tubos de las alícuotas utilizadas. A partir de estos resultados, se seleccionaron, siguiendo las reglas establecidas, los tres números que indican el número de tubos

positivos en las series de tres diluciones consecutivas que deben emplearse para determinar el NMP en la tabla. En los casos en que la lectura se hizo usando volúmenes de muestra diferentes a los que establece la tabla (10.0 mL, 1.0 mL y 0.1 mL), se multiplicó por el factor de dilución correspondiente. Los resultados se informaron como NMP/100 mL.

Desechos sólidos

Se diseñó y aplicó el siguiente procedimiento, para llevar a cabo la determinación de los desechos sólidos en las playas: se escogió una franja de 3 m de ancho y 100 m de longitud, paralela al mar, de una playa próxima a cada una de las áreas donde se recolectaron las aguas para llevar a cabo la determinación de bacterias coliformes. Se recogieron casi todos los materiales de origen antrópico que se encontraban en ella. Se anotó en el registro de datos la presencia de pañales usados, algunos materiales de látex, estructuras grandes de metal, piezas de madera mayores de 1 m^2 de área, pero no se recogieron. En el laboratorio se procedió a separar, contar, medir o pesar cada pieza recolectada. Los resultados se expresaron como unidades/100 m o masa en g/100 m, según fuera el caso. Se confeccionó un listado con 15 artículos, el cual se redujo, para su análisis, en cinco grupos generales: vidrios, metales, plásticos, materiales celulósicos y otros. En la playa se pidió a los participantes en la recolección que expresaran su criterio sobre su percepción del grado de contaminación de la playa, empleando una escala de: 1. limpia, 2. moderadamente sucia, 3. sucia, 4. muy sucia; con esto se estableció un promedio para asignarle una categoría a la playa.

RESULTADOS

Bacterias coliformes

Los resultados sobre el estudio de la presencia de bacterias coliformes totales y fecales en la zona costera del Caribe y del Pacífico de

CUADRO 1

Estaciones y la contaminación bacteriana en la zona costera del Caribe de Costa Rica, en el período 2000-2002

Ecosistema, fecha	Sitio de muestreo	Coliformes totales (NMP/100 mL)	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
Moín, mayo del 2000	1 Playa	33	8	
	2 Muelle	2 400	1 600	
	3 Punta	9	<2	
Moín, octubre del 2000	1 Playa	70	<2	
	2 Muelle	240	<2	
	3 Punta	23	<2	
	4 Desembocadura	330	2	
	5 Río Moín*	3 500	2	
Moín, enero del 2002	2 Muelle	1 100	43	43
	3 Punta	460	460	150
	4 Desembocadura	460 000	460 000	460 000
Limón, julio del 2002	1 Playa	24 000	4 600	4 600
	6 Malecón	4 300	2 400	460
	7 Portete	240 000	110 000	24 000
	8 Aeropuerto	2 400	460	460
	9 Kelly Creek*	46 000	9 300	9 300

*No se incluyen en los cálculos de los promedios.

CUADRO 2

Valores estadísticos de la contaminación bacteriana en la zona costera del Caribe de Costa Rica, en el período 2000-2002

Ecosistema, fecha		Coliformes totales (NMP/100 mL)	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
Moín, mayo del 2000.	Promedio aritmético	814	537	
	CV, %**	169	172	
	Promedio geométrico	89	29	
Moín, octubre del 2000.	Promedio aritmético	111	<2	
	CV, %	103	0	
	Promedio geométrico	73	2	
Moín, enero del 2002.	Promedio aritmético	153 853	153 501	153 398
	CV, %	172	173	78
	Promedio geométrico	6 151	2 088	1 437
Limón, julio del 2002.	Promedio aritmético	67 675	29 365	7 380
	CV, %	170	183	152
	Promedio geométrico	15 614	4 862	2 198

*No se incluyen en los cálculos de los promedios. ** Coeficiente de variación, en porcentaje.

CUADRO 3

Estaciones y contaminación bacteriana en ecosistemas de la costa Pacífica de Costa Rica, en el período 2000-2002

Ecosistema, fecha	Sitio de muestreo	Coliformes totales NMP/100 mL	Coliformes fecales NMP/100 mL
Bahía Culebra, junio del 2000.	Playa Panamá	<2	<2
	Esmeralda	<2	<2
Bahía Culebra, mayo 2002.	Playa Panamá	9	4
	Esmeralda	23	<2
	Manglar	23	9
Golfo de Nicoya, abril del 2000.	Islotes Cortezas	11	2
	Isla Caballo	<2	<2
	Puntarenas	<2	<2
Golfo de Nicoya, septiembre del 2000.	Islotes Cortezas	460	151
	Isla Caballo	<2	<2
	Puntarenas	93	43
Golfo de Nicoya, julio del 2002.	Playa Blanca	93	39
	Puntarenas	4	4
	Muelle Puntarenas	9	<2
	Cocal	1 500	1 100
	Barranca	4 300	1 500
	Caldera	15	15
Estero de Puntarenas, mayo del 2000.	Angostura	54 000	13 000
	Boca del Estero	1 600	350
	Muelle Puntarenas*	170	33
Estero de Puntarenas, noviembre del 2002.	Río Aranjuez	4 600	2 400
	La Angostura	4 300	430
	Estero Pitahaya Nueva	2 400	430
	Estero Pitahaya Vieja	750	430
	Frente al parque	460	93
	Muelle del "ferry"	460	240
	Boca del Estero	2 400	210
Bahía de Golfito, mayo del 2000.	Frente UCR	16 000	16 000
	Muelle Nacional	92 000	92 000
	Muelle Municipal	92 000	92 000
Bahía de Golfito, noviembre del 2000.	Galpón Muelle Nacional	2 300	930
	Muelle Nacional	2 300	150
	Muelle Municipal	46 000	7 500
Bahía de Golfito, febrero del 2002.	Muelle Nacional 1	460	150
	Muelle Nacional 2	460	43
	Muelle Municipal 1	93 000	7 500
	Muelle Municipal 2	46 000	15 000
Bahía de Golfito, noviembre del 2002.	Frente UCR	930 000	430 000
	Galpón Muelle Nacional	43	15
	Muelle Municipal	43 000	43 000
	Barriada de la plaza	23 000	9 300
	Grifo Municipal*	930	430

*No se incluyen en los cálculos de los promedios.

CUADRO 4
Valores estadísticos de la contaminación bacteriana en ecosistemas de la costa Pacífica de Costa Rica, en el período 2000-2002

Ecosistema, fecha	Sitio de muestreo	Coliformes totales NMP/100 mL	Coliformes fecales NMP/100 mL
Bahía Culebra, junio del 2000.	Promedio aritmético	<2	<2
	CV, %**	0	0
	Promedio geométrico	<2	<2
Bahía Culebra, mayo 2002.	Promedio aritmético	18	5
	CV, %	44	72
	Promedio geométrico	17	4
Golfo de Nicoya, abril del 2000.	Promedio aritmético	5	<2
	CV, %	104	0
	Promedio geométrico	4	<2
Golfo de Nicoya, septiembre del 2000.	Promedio aritmético	185	65
	CV, %	131	118
	Promedio geométrico	44	24
Golfo de Nicoya, julio del 2002.	Promedio aritmético	987	443
	CV, %	175	152
	Promedio geométrico	83	44
Estero de Puntarenas, mayo del 2000.	Promedio aritmético	27 800	6 675
	CV, %	133	134
	Promedio geométrico	9 295	2 133
Estero de Puntarenas, noviembre del 2002.	Promedio aritmético	2 196	605
	CV, %	80	133
	Promedio geométrico	1 512	367
Bahía de Golfito, mayo del 2000.	Promedio aritmético	66 667	66 667
	CV, %	66	66
	Promedio geométrico	51 353	51 353
Bahía de Golfito, noviembre del 2000.	Promedio aritmético	16 867	2 860
	CV, %	150	141
	Promedio geométrico	2 243	1 015
Bahía de Golfito, febrero del 2002.	Promedio aritmético	34 980	5 673
	CV, %	126	126
	Promedio geométrico	5 485	923
Bahía de Golfito, noviembre del 2002.	Promedio aritmético	249 011	120 579
	CV, %	182	172
	Promedio geométrico	14 102	7 127

**No se incluyen en los cálculos de los promedios. ** Coeficiente de variación, en porcentaje.*

CUADRO 5
Cuantificación de Escherichia coli en ecosistemas de la costa Pacífica de Costa Rica, en el año 2002

Ecosistema, mes	Sitio de muestreo	NMP/100 mL	Promedio aritmético	CV** (%)	Promedio geométrico
Bahía Culebra, mayo.	Playa Panamá	4			
	Esmeralda	<2	5	72	4
	Manglar	9			
Golfo de Nicoya, julio.	Playa Blanca	39			
	Puntarenas	<2			
	Muelle Puntarenas	<2	529	136	48
	Cocal	1 100			
	Barranca	1 500			
	Caldera	15			
Estero de Puntarenas, noviembre.	Río Aranjuez	930			
	La Angostura	430			
	Estero Pitahaya Nueva	75			
	Estero Pitahaya Vieja	230	244	140	65
	Frente al parque	23			
	Muelle del "ferry"	<2			
	Boca del estero	15			
Bahía de Golfito, febrero.	Muelle Nacional 1	93			
	Muelle Nacional 2	23	1 229	110	333
	Muelle Municipal 1	2 400			
	Muelle Municipal 2	2 400			
Bahía de Golfito, noviembre.	Frente UCR	240 000			
	Galpón Muelle Nacional	4			
	Muelle Municipal	23 000	66 326	175	2 670
	Barriada de la plaza	2 300			
	Grifo Municipal*	230			

*No se incluye en los cálculos de los promedios. CV** = Coeficiente de variación.

Costa Rica, así como los de la determinación ocasional del contenido de *E. coli*, se indican en los Cuadros 1 y 3, donde se presentan los valores individuales para cada muestra analizada. A su vez, en los Cuadros 2, 4 y 5, se detalla la estadística correspondiente para cada sector de la zona: promedio aritmético, coeficiente de variación en porcentaje, CV %, y promedio geométrico.

Costa Caribe

Moín: en el muestreo efectuado en mayo del 2000, en este sitio portuario del Caribe, se determinó un ámbito de 9 a 2 400 NMP/100 mL para las bacterias coliformes totales y <2 a 1 600 NMP/100 mL para coliformes fecales. Los valores más altos ocurrieron en las aguas del muelle de Moín (2 400 NMP/100 mL

totales y 1 600 NMP/100 mL fecales). Para el siguiente muestreo de ese año, en octubre, la tendencia fue hacia menores densidades de coliformes, pues el ámbito en esa área fue de 23 a 330 NMP/100 mL en coliformes totales y <2 a 2 NMP/100 mL en coliformes fecales; el valor más alto ocurrió en la desembocadura del río Moín (330 NMP/100 mL en coliformes totales). El valor próximo más alto de nuevo correspondió a las aguas del muelle de Moín: 240 NMP/100 mL en coliformes totales. Una muestra obtenida en el río Moín, a 4 km antes de su desembocadura, presentó una concentración de 3 500 NMP/100 mL en coliformes totales y 2 NMP/100 mL de coliformes fecales. El muestreo efectuado en enero del 2002, evidenció una situación de alta contaminación por coliformes y *E. coli* en la Punta y en la Desembocadura, dados los valores extremos de 460 y 460 000 NMP/100 mL, para los coliformes fecales, y 150 y 460 000 NMP/100 mL para la *E. coli* (Cuadro 1).

Moín-Cahuita: se observó una tendencia hacia valores altos en la distribución de la contaminación bacteriana de este sector del Caribe costarricense, comparado con la situación anterior de Moín (Cuadro 1). Esto se fundamentó en el muestreo del mes de julio del 2002, cuando los ámbitos fueron de 2 400 a 240 000 NMP/100 mL en coliformes totales y de 460 a 110 000 NMP/100 mL en coliformes fecales. En esa misma fecha, los valores extremos para *E. coli* fueron 460 y 24 000 NMP/100 mL.

Costa Pacífica

Bahía Culebra: la tendencia general que se apreció con respecto al resto de los sectores costeros estudiados, fue hacia los valores más bajos en este sector especialmente turístico de Costa Rica, en cuanto a la concentración de bacterias coliformes. Se obtuvo concentraciones menores que 2 NMP/100 mL de bacterias coliformes totales y fecales en los dos sitios muestreados en junio del 2000. En mayo del 2002 se incluyó otra muestra cercana a playa Panamá, identificada como Manglar en el Cuadro 3 y el ámbito

obtenido fue de 9 a 23 NMP/100 mL para coliformes totales. Los valores de densidad de coliformes fecales y *E. coli* coincidieron y el ámbito correspondiente fue de <2 a 9 NMP/100 mL.

Golfo de Nicoya: en este dinámico estuario se definieron en abril del 2000, tres estaciones de muestreo (Cuadro 3), cuyas concentraciones de coliformes totales y fecales fueron muy bajas, en los ámbitos de <2 a 11 NMP/100 mL y de <2 a 2 NMP/100 mL, respectivamente. En el Cuadro 4 se detalla la estadística correspondiente. En septiembre de ese año la tendencia observada en los valores fue hacia las magnitudes más altas, en el ámbito de <2 a 460 NMP/100 mL para los coliformes totales y <2 a 151 NMP/100 mL para los coliformes fecales (Cuadro 3). La estadística atinente se observa en el Cuadro 4. En el mes de julio del 2002 el muestreo incluyó seis sitios de recolección de agua superficial, desde Playa Blanca, en Punta Morales hasta el puerto de Caldera (Fig. 1, Cuadros 3, 4). Para esta área el ámbito en coliformes totales fue de 4 a 4 300 NMP/100 mL y en lo que respecta a los coliformes fecales de <2 a 1500 NMP/100 mL. La estadística de la determinación de *E. coli* se muestra en el Cuadro 5.

Estero de Puntarenas: este estero recibe un porcentaje importante de las aguas servidas de la ciudad de Puntarenas, luego de que son llevadas a una planta de tratamiento primario. En el mes de mayo del 2000 se recolectó una muestra en cada uno de dos sitios críticos del estero: la Angostura y la desembocadura al Golfo de Nicoya, denominada en este estudio como boca del estero. Los valores determinados y la estadística correspondiente se muestran en los Cuadros 3 y 4. Ese mismo día se tomó una muestra en el muelle de Puntarenas y los coliformes totales y fecales fueron 170 NMP/100 mL y 33 NMP/100 mL, respectivamente; esos datos no se han incluido en los cálculos de los promedios, por pertenecer a una estación localizada fuera del estero, pero que, debido a la dinámica oceanográfica de esta zona, constituye un punto importante

de referencia. En noviembre del año 2002 se recolectaron muestras en seis sitios a lo largo del estero, desde el río hasta la boca. El ámbito de coliformes totales fue de 460 a 4 600 NMP/100 mL, y coliformes fecales fue de 93 a 2 400 NMP/100 mL (Cuadro 3). En el Cuadro 4 se presenta la estadística de ese grupo de datos. El ámbito en el que se encontró *E. coli* fue de <2 a 930 NMP/100 mL y en el Cuadro 5 se presentan los parámetros estadísticos.

Bahía de Golfito: la bahía recibe las aguas servidas de la ciudad de Golfito. Se definió la ubicación de tres sitios de muestreo y las muestras de agua recolectadas en mayo del 2000, proporcionaron valores de coliformes totales y fecales que estuvieron en el ámbito de 16 000 a 92 000 NMP/100 mL. En los Cuadros 3 y 4 se ofrece el detalle de los datos obtenidos y su estadística correspondiente. En noviembre de ese mismo año, la tendencia en el ámbito de estos valores fue hacia las magnitudes más bajas, de 2 300 a 46 000 NMP/100 mL para los coliformes totales y de 150 a 7500 NMP/100 mL para los coliformes fecales (Cuadro 3). En el Cuadro 4 se detalla la estadística pertinente. Se recolectaron cuatro muestras en febrero del año 2002, que presentaron un ámbito de 460 a 93 000 NMP/100 mL en coliformes totales y de 43 a 15 000 NMP/100 mL para los coliformes fecales (Cuadro 3). Los parámetros estadísticos se ofrecen en el Cuadro 4. En noviembre del 2002 se incluyó una muestra de agua costera del sur del muelle Municipal, identificada como Barriada de la Plaza (Cuadros 3, 5). El ámbito de los coliformes totales para las cuatro muestras que abarcó esta campaña de muestreo fue 43 a 930 000 NMP/100 mL. En coliformes fecales el ámbito fue de 15 a 430 000 NMP/100 mL y para *E. coli* los valores extremos fueron 4 y 240 000 NMP/100 mL (Cuadro 5). A solicitud de un grupo de usuarios, se recolectó y analizó una muestra de agua de un grifo para uso del público, a la entrada del muelle Municipal, y los resultados (Cuadros 2 y 3) no se han incluido en estos cálculos, por razones obvias: no se trató de agua de mar, sino agua potable.

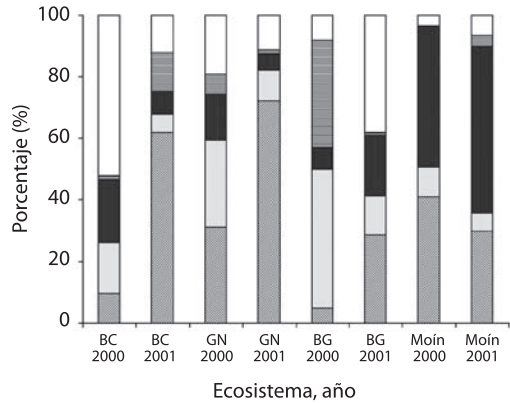


Fig. 2. Composición porcentual de los principales componentes de los desechos sólidos recolectados en varias playas de Costa Rica, en el período 2000-2001. En el Pacífico: BC = Bahía Culebra, GN = Golfo de Nicoya, BG = Bahía de Golfito; en el Caribe: Moín. Plásticos (líneas oblicuas), Metales (gris), Celulósicos (negro), Vidrios (líneas horizontales) y Otros (blanco).

Desechos sólidos

En la Fig. 2 se muestra la distribución porcentual de los desechos sólidos de origen antrópico en las playas recorridas. La composición global de los 11 525 g de desechos sólidos, recogidos en las costas del Pacífico en el año 2000, fue un 31.0% de plásticos, 28.2% metales, 15.1% materiales celulósicos, 5.2% vidrios y 20.4% otros materiales. En el año 2001 se recolectaron 9 555 g, de los cuales el 30.3% correspondió a materiales plásticos, 16.5% metales, 14.7% materiales celulósicos, 5.7% vidrios y 32.8% otros materiales. En el Caribe, en el año 2000 se determinó un 41.0% de plásticos, 9.6% metales, 45.2% materiales celulósicos, 3.3% otros materiales, y no se encontró vidrios, en un total de 1 300 g de artículos recolectados. En el año 2001, de los 1 500 g de desechos sólidos recogidos, 30.0% correspondió a materiales plásticos, 6.0% metales, 54.0% materiales celulósicos, 3.3% vidrios y 6.7% otros materiales. No se encontraron esferas plásticas para relleno, en los sitios visitados; sin embargo, mucho del plástico recogido incluyó trozos y artículos muy pequeños. La apreciación sobre la calidad de las playas examinadas, según los participantes en cada inspección, arrojó un

promedio de 41.2% de playas moderadamente sucias, 23.4% de playas sucias y en cada uno de los extremos, un 17.7% de playas muy sucias y de playas limpias.

DISCUSIÓN

Costa Caribe

Moín: De acuerdo con los p_g de coliformes totales y fecales, en el año 2000 (Cuadro 2), las aguas de esta zona correspondieron a la categoría de clase A, dentro de la clasificación sugerida por Mora *et al.* (1989). No obstante, la muestra del muelle obtenida en el mes de mayo presentó un valor absoluto de 1 600 NMP/100 mL en coliformes fecales (Cuadro 1), que la identificó como proveniente de un sitio no apto para la natación. Puesto que existe un servicio de vehículos cisterna, que lleva a cabo la recolección de aguas servidas de los barcos y las instalaciones de las oficinas portuarias utilizan un sistema de tanques sépticos, la fuente más probable pudo ser el ingreso de la estela superficial del río Moín en la zona del muelle, debido a que la corriente costera fluye hacia el sureste (Atwood 1977). Durante la campaña de octubre del 2000 se observó la descarga directa de aguas servidas desde varias de las casas y negocios a lo largo de la ribera este del río Moín. Esto motivó a que se extrajera para su análisis una muestra de agua del río. El resultado reveló que la cantidad de coliformes totales fue alta, aunque no así la de los coliformes fecales (Cuadro 1, sitio 5). El efecto se notó aún en la desembocadura, donde el valor individual de la muestra obtenida ese mismo día (330 NMP/100 mL), colocó a esta sección dentro de una zona que consideramos de atención ambiental. Para enero del 2002 la situación fue más grave, puesto que la muestra de la desembocadura presentó una densidad de 460 000 NMP/100 mL en coliformes fecales, todos *E. coli*. En esa ocasión, a la bahía de Moín le correspondió la categoría clase C, de acuerdo con la clasificación de Mora *et al.* (1989).

Moín-Cahuita: El muestreo del mes de julio del 2002 puso en evidencia que esta sección costera, de unos 65 km de longitud, tiene un problema significativo de contaminación bacteriana. Los p_g para las densidades de coliformes totales, fecales y *E. coli* (Cuadro 2), correspondieron a la clase C, en la clasificación de Mora *et al.* (1989). Un hecho importante fue que en el río a la entrada del Parque Nacional de Cahuita, Kelly Creek, se detectaron valores muy altos de coliformes totales y fecales (Cuadro 1). Tomando en cuenta que Coles y Ruddy (1995), informaron que el deterioro ambiental causado por la descarga de aguas servidas, sin tratamiento, en una bahía en O'ahu, Hawai'i, provocó cambios importantes en la biodiversidad de un ecosistema coralino, pero que luego de un cambio en la ubicación y en la profundidad de las descargas de esas aguas contaminadas, se logró un crecimiento incipiente de algunas especies de coral que habían sido afectadas, resulta necesario recomendar que se diseñe un plan efectivo de manejo, para garantizar la protección de las aguas costeras del Parque Nacional de Cahuita.

Costa Pacífica

Bahía Culebra: El muestreo en este lugar fue el menos intensivo durante este estudio y los resultados (Cuadro 3) coincidieron con el hecho de que las actividades antrópicas ahí habían sido de menor cuantía que en las otras regiones visitadas. En todas las ocasiones en que se llevó a cabo el muestreo, las aguas de esta bahía correspondieron a la clase A, según los p_g de la clasificación de Mora *et al.* 1989 (Cuadro 4).

Golfo de Nicoya: En el mes de abril del 2000, el muestreo bacteriológico realizado en las tres estaciones que triangulan la zona baja del golfo: Islas Cortezas, Isla Caballo y Puntarenas, reveló concentraciones de coliformes totales y fecales correspondientes a un área de clase A (Cuadros 3, 4). Para el mes de setiembre el p_g de coliformes fecales se incrementó hasta 24 NMP/100 mL; sin embargo,

este valor pertenece a esa misma categoría de aguas aptas para la natación (Cuadro 4).

Con el propósito de conocer la distribución espacial de las bacterias coliformes en una zona más amplia de esta sección del golfo, en el año 2002 se llevó a cabo una campaña de muestreo bacteriológico, que se inició en el sur de las islas Cortezas (frente a Playa Blanca), continuó frente a Puntarenas y concluyó en el muelle de Caldera. Las mayores concentraciones de coliformes fueron localizadas en la desembocadura del río Barranca y frente a Cocal (Cuadro 3). En esa oportunidad, los valores de la concentración de coliformes totales, fecales y *E. coli*, obtenidos en la zona que incluye a la playa de Puntarenas, revelaron que en esta playa las aguas estuvieron seguras para la natación, desde un punto de vista bacteriológico, hecho relevante puesto que se trata de un lugar turístico por excelencia (Cuadro 4).

Estero de Puntarenas: Históricamente, este estuario se ha caracterizado por mantener una alta concentración de bacterias coliformes (Acuña *et al.* 1998). El muestreo efectuado en el mes de mayo del 2000, reveló un p_g de 9 295 NMP/100 mL en cuanto a coliformes totales y 2 133 NMP/100 mL para coliformes fecales, valores que lo acreditaron como un cuerpo de agua de clase C (Cuadros 3, 4). Aunque es posible que durante la marea baja, la salida del agua del estero afecte la calidad del agua de la muy concurrida playa de Puntarenas, se observó en esta oportunidad que en las cercanías del muelle los valores de coliformes totales y fecales fueron bajos: 170 NMP/100 mL y 33 NMP/100 mL, respectivamente, valores indicativos de aguas de clase A (Cuadro 3). Se puede deducir, entonces, la existencia de flujos de agua estuarina que en ciertas ocasiones salen en una dirección más o menos perpendicular a la línea de la costa, alejando así la carga de contaminantes fecales de esa playa tan utilizada por bañistas. No obstante, la dinámica de las corrientes del golfo es tal que, eventualmente, la masa de agua que interacciona en la playa puede llegar a ser afectada por las bacterias coliformes que logren sobrevivir en el agua

de mar. Por esta razón es posible que se pueda encontrar, en ciertos momentos, niveles de contaminación bacteriana en esas aguas.

En la campaña de noviembre del año 2002, efectuada a lo largo del estero, desde el río hasta la desembocadura al golfo de Nicoya, se determinó que este importante cuerpo de agua mantuvo su categoría de no apto para la natación, dentro de la categoría de clase C de Mora *et al.* (1989). El p_g en coliformes fecales para el grupo de muestras analizadas fue 367 NMP/100 mL y en *E. coli* el p_g fue 65 NMP/100 mL. Además, la distribución espacial de bacterias coliformes demostró la existencia de un gradiente de concentraciones, con valores altos en la zona de la entrada del río y bajos en la parte central del estero (Cuadros 3-5). Este perfil horizontal fue similar al informado por Acuña *et al.* (1998), sólo que en el presente trabajo fue de magnitud inferior. La razón de estos resultados radica en el hecho de que cerca de la estación denominada La Angostura, se descargan las aguas que provienen de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad, la cual no está activa las 24 h, y la muestra en ese sitio fue tomada cerca del momento de alcanzarse el punto más alto de la marea (219 cm a las 11:47 am), es decir, cuando la corriente iba todavía con dirección río arriba. Este flujo justifica, en parte, el hecho de que los valores de coliformes totales fueran mayores en la sección comprendida entre el río Aranjuez y el estero Pitahaya Nueva (4 600 a 2 400 NMP/100 mL), y uniformes desde el estero Pitahaya Vieja hasta la Angostura (430 NMP/100 mL).

Bahía de Golfito: Las muestras recolectadas en el mes de mayo del año 2000, revelaron que las aguas de esta bahía correspondieron a la clase C, no aptas para la natación, de acuerdo con la clasificación de Mora *et al.* (1989). Si bien presentaron un p_g muy alto en coliformes fecales (51 353 NMP/100 mL), ya en la campaña del mes de noviembre éste fue mucho más bajo, (p_g = 1 015 NMP/100 mL) (Cuadro 4). No obstante, la bahía mantuvo su categoría de aguas clase C. Para febrero del año 2002 la situación continuó con una tendencia hacia la

disminución de las concentraciones de coliformes, pues el p_g fue de 923 NMP/100 mL. En noviembre de ese mismo año, el p_g en coliformes fecales se incrementó de nuevo (7 127 NMP/100 mL), con un correspondiente p_g de 2 670 NMP/100 mL para *E. coli* (Cuadro 5). Estos valores reflejaron el hecho de que las aguas servidas de la ciudad de Golfito son descargadas directamente a la bahía por medio de varios emisarios submarinos, sin tratamiento alguno, en diferentes puntos a lo largo de la línea de la costa. En la ciudad de Golfito, no todo el servicio de agua está controlado por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados; prueba de ello fueron los resultados de la muestra obtenida en el grifo a la entrada del muelle municipal, que presentó valores de 430 NMP/100 mL en coliformes fecales y 230 NMP/100 mL en *E. coli* (Cuadros 3, 5). De las bahías consideradas en este estudio, la de Golfito presentó la condición menos aceptable en cuanto a la contaminación por bacterias coliformes se refiere; es la más pequeña y la que tiene una entrada de agua de mar más restringida, además de las descargas puntuales de aguas servidas no tratadas. Éstos son factores muy importantes, pues la circulación dentro de la bahía es limitada, lo que influye en que no se logre una adecuada dispersión o dilución de los contaminantes antropogénicos.

Desechos sólidos: En la región del Pacífico se inspeccionó una mayor cantidad de playas, por lo cual la masa de desechos sólidos fue superior a la del Caribe. Al estimar la totalidad de los materiales recolectados durante este período de estudio en ambas costas, la cantidad de materiales plásticos resultó mayor que las demás categorías. En Playa Blanca, Golfo de Nicoya, y en especial inmediatamente después de los días feriados y fines de semana, la fuente más importante de desechos sólidos la constituyeron los turistas que visitaron la playa, quienes por lo general la dejaron en un estado lamentable desde un punto de vista estético, además del evidente daño a la flora y fauna local que pudo ocurrir. Las playas poco sucias, sucias y muy sucias correspondieron al 82.3%,

hecho que motiva a sugerir el establecimiento de estrategias educacionales (UNESCO 1992), dirigidas a todos los niveles de la comunidad costarricense, que abarque desde personas involucradas en actividades marítimas hasta la escuela primaria, y reforzar además las políticas gubernamentales existentes en cuanto a los programas de limpieza de playas.

AGRADECIMIENTOS

A Eleazar Ruiz, Davis Morera, Mauricio Oviedo, Eddy Gómez, Roberto Zumbado, Edgar Salgado, Grettel Agüero, a los hermanos Pedro y Fernando González Sánchez de Moín. Personal del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), de la Universidad de Costa Rica. Este trabajo fue posible gracias al apoyo de la Universidad de Costa Rica, por medio del proyecto del CIMAR Contaminación costera en Costa Rica (808-A0-506), financiado por la Fundación CR-USA para la Cooperación.

RESUMEN

Dos veces al año, en el 2000 y en el 2002, se determinó la calidad bacteriológica de las aguas de cinco ambientes costeros de Costa Rica, uno en el Caribe (Bahía de Moín) y cuatro en el Pacífico (Bahía Culebra, Golfo de Nicoya, Puntarenas, Bahía de Golfito). Se utilizó el método estándar del número más probable (NMP)/100 mL, con incubación de series de cinco tubos, para estimar la densidad de bacterias coliformes totales y fecales (en el año 2002 se investigó también la presencia de *Escherichia coli*). Del Caribe se obtuvieron 14 muestras de agua costera y dos de agua de río, mientras que en Pacífico se utilizaron 32 muestras de agua costera, nueve estuarinas y una agua del tubo, además de las 25 muestras para *E. coli*. Al usar como referencia los promedios geométricos de <200 NMP/100 mL en coliformes totales y <100 NMP/100 mL en coliformes fecales como criterios bacteriológicos para aguas aptas para la natación, la Bahía de Golfito resultó ser la más contaminada (todos los promedios que siguen son promedios geométricos) con coliformes totales 51 353 NMP/100 mL en mayo y 6 243 NMP/100 mL en noviembre del 2000; 5 485 NMP/100 mL en febrero y 14 102 NMP/100 mL en noviembre del 2002. En cuanto a los coliformes fecales los valores en el 2000 fueron 51 353 NMP/100 mL en mayo, 1 015 NMP/100 mL en noviembre, y 923 NMP/100 mL en

febrero y 7 127 NMP/100 mL en noviembre del año 2002. La región más limpia fue la Bahía de Culebra, con valores de coliformes totales de <2 NMP/100 mL en junio del 2000 y 17 NMP/100 mL en mayo del 2002, y coliformes fecales <2 NMP/100 mL en junio del 2000 y 4 NMP/100 mL en mayo del 2002. Más del 80% de las ocasiones en que se inspeccionaron las playas, estaban entre “moderadamente sucias” y “muy sucias” con desechos sólidos.

Palabras clave: bacteria coliforme, *E. coli*, desechos marinos, contaminación marina, Costa Rica.

REFERENCIAS

- Acuña, J.A., V. García & J. Mondragón. 1998. Comparación de algunos aspectos físico-químicos y calidad sanitaria del Estero de Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 1-10.
- Acuña-González, J. A., J. A. Vargas-Zamora, E. Gómez-Ramírez & J. García Céspedes. 2004. Hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos, en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 43-50.
- American Public Health Association-AWWA-WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC, EEUU. 9221 Sections A, B, C, and D.
- Arrieta, R. 1994. Conflictos ambientales y su carácter socio-político en Costa Rica: El caso de los desechos sólidos. *In* Taller sobre manejo de desechos sólidos y peligrosos. Universidad de Costa Rica-Embajada de Holanda, San José, Costa Rica.
- Atwood, D.K. 1977. Regional Oceanography as it Relates to Present and Future Pollution Problems and Living Resources-Caribbean. p. 47-49. *In* Collected Contributions of Invited Lectures and Authors to the IOC-FAO-UNEP International Workshop on Marine Pollution in the Caribbean and Adjacent Regions. Port of Spain, Trinidad and Tobago, 13-17 December 1976, UNESCO, Workshop Report No. 11, Supplement.
- Bruni, V., T.L. Maugeri & L. Monticelli. 1997. Faecal pollution indicators in the Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Mar. Poll. Bull.* 34: 908-912.
- Brunker, T. 1963. Estudio de la calidad sanitaria de las aguas de la playa de baño de Puntarenas. Tesis de grado, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 58 p.
- Coles, S.L. & L. Ruddy. 1995. Comparison of water quality and reef coral mortality and growth in Southeastern Kāne'ohe Bay, O'ahu, Hawai'i, 1990 to 1992, with conditions before sewage diversion. *Pac. Sci.* 49: 247-265.
- García- Céspedes, J. , J. A. Acuña-González y J. A. Vargas-Zamora. 2004. Meales traza en sedimentos de cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 51-60.
- Mora, D.A. 1991. Diagnóstico sanitario de las aguas de las playas del mar Caribe de Costa Rica. Período 1981-1990. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, San José, Costa Rica. 33 p.
- Mora-Alvarado, D. 1997. Beneficios del Programa Bandera Azul Ecológica para las playas de excelencia en los aspectos higiénicos sanitarios: Costa Rica, periodo 1996-1997. *Rev. Costar. Salud Pública* 6: 43-53.
- Mora, D.A., J.C. Rojas, M. Sequeira, A. Mata & M. Coto. 1989. Criterios bacteriológicos y calidad sanitaria de las aguas de las playas de Costa Rica. Período 1986-1987. *Tecnología en Marcha* 9: 45-59.
- Orozco-Borbón, M.V., J.A. Segovia-Zavala, F. Delgadillo-Hinojosa & A. Muñoz-Barbosa. 1994. Estudio bacteriológico de agua de mar para el cultivo de moluscos bivalvos en Baja California. *Cienc. Mar.* 20: 183-198.
- Romero-López, T. & G. Suárez-Álvarez. 1993. Distribución de la contaminación orgánica en la Bahía de Nipe, Cuba. *Cienc. Mar.* 19:371-386.
- Spongberg, A. 2004. PCB contamination in surface sediments in the coastal waters of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 1-10.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 1992. State of pollution by oil and marine debris in the wider Caribbean region. Intergovernmental Oceanographic Commission, Technical Series 39, Paris, Francia. 57 p.
- Wong-Chang, I. & G. Barrera-Escorcía. 1996. Implicaciones ecológicas de la contaminación microbiológica en la zona costero-marina, p. 369-376. *In* A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez & D. Zárate-Lomelí (eds.). Golfo de México, Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche, *EPOMEX* Serie Científica, México.