

# CALIDAD DEL AGUA EN EL MEDIO MARINO. HISTORIA Y APLICACIÓN DE NORMAS MICROBIOLÓGICAS

Henry J. Salas<sup>1</sup>

*Se hace una revisión de la historia y aplicación de los estándares microbiológicos de calidad del agua marina para uso recreativo de contacto primario y para cosecha de mariscos. Investigaciones recientes concluyen que los enterococos, como organismos indicadores, dan la mejor correlación con los trastornos digestivos atribuidos a la natación en aguas contaminadas. Se ha establecido, pues, una relación lineal entre la concentración media de enterococos por 100 ml y los trastornos digestivos asociados con la natación por 1 000 personas, y en 1986 la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos de América adoptó estas bacterias como organismos indicadores principales para las aguas de uso recreativo en lugar de los indicadores aplicados hasta entonces, principalmente los coliformes totales y fecales.*

*Las guías y estándares microbiológicos internacionales, nacionales y locales para el medio marino que se presentan ofrecen al ingeniero sanitario los límites de calidad del agua. No es conveniente adaptar un grupo particular de estándares sin una revisión cuidadosa de las circunstancias y los factores socioeconómicos locales y nacionales. Asimismo, al aplicar relaciones cuantitativas entre riesgo de enfermedad y nivel de organismos indicadores se deberán tener en cuenta la salud general y la inmunidad de la población local.*

El criterio de calidad del agua para uso recreativo se define como una relación cuantificable de exposición y efecto, basada en pruebas científicas, entre el nivel de algún indicador de calidad del agua y los riesgos potenciales para la salud asociados con su uso. Una guía de calidad del agua derivada de este criterio es la concentración máxima sugerida del indicador en el agua, que está asociada con riesgos inaceptables para la salud. El concepto de aceptabilidad involucra factores sociales, culturales, económicos y políticos, así como de salud. Un

estándar o norma de calidad del agua obtenido de este criterio es una guía establecida por ley.

## HISTORIA

Las primeras evaluaciones sobre la relación entre las aguas de uso recreativo y las enfermedades las llevó a cabo la Asociación de Salud Pública de los Estados Unidos de América, que a principios de los años veinte estudió la prevalencia de enfermedades infecciosas que pueden transmitirse en el agua de las piscinas u otros lugares de natación (1). Como ha indicado Moore (2), la

<sup>1</sup> Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Lima. Dirección postal: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, casilla postal 4337, Lima 100, Perú.

primera aplicación efectiva de guías bacteriológicas para las aguas marinas recreativas se puede atribuir a la sugerencia prudente hecha en 1928 por Winslow y Moxon (3) en el sentido de que la concentración de coliformes no debía exceder de 100/100 ml. La recomendación de esos autores se basó en las conclusiones de su estudio de la contaminación del Puerto de New Haven, en los Estados Unidos, en que atribuyeron la fiebre tifoidea a la natación en aguas sumamente contaminadas; sin embargo, no dieron ninguna base lógica para esta cifra.

En 1930, Coburn (4) sugirió un número máximo aceptable de coliformes de 10 000/100 ml y citó el caso de un balneario en que los recuentos repetidos de coliformes eran aun más altos, pero aparentemente estos microorganismos no causaban enfermedades a los bañistas. Ludwig (5) ha señalado que el estándar de coliformes de California, con un valor de número más probable (NMP) de 1 000/100 ml, que ha sido adoptado en muchas otras zonas, se estableció durante los años cuarenta y se basó íntegramente en consideraciones estéticas. Los investigadores encontraron que cuando las concentraciones totales de coliformes permanecían más de 80% del tiempo con un valor estable de NMP menor de 1 000/100 ml, las playas se mantenían satisfactoriamente estéticas, sin pruebas visuales de contaminación por desagües.

Según Cabelli *et al.* (6), el límite de coliformes totales de 1 000/100 ml adoptado en los Estados Unidos "se estableció a partir de dos fuentes: el riesgo de salmonelosis estimado de acuerdo con los cálculos hechos por Streeter (7) sobre la frecuencia de especies de *Salmonella* en aguas de uso recreativo de contacto primario, y la factibilidad de alcanzar ese límite según fue determinada por Scott (8) mediante ensayos microbiológicos llevados a cabo en las playas de Connecticut". El estándar de Connecticut fue adoptado por muchos organismos estatales de los Estados Unidos.

En 1956, Garber (9) informó sobre los resultados de una encuesta llevada a cabo entre distintos organismos de salud pública de los Estados Unidos para saber cómo ha-

bían determinado los estándares bacteriológicos para las aguas de uso recreativo. La respuesta más frecuente fue que no había otro antecedente analítico para los límites establecidos que el hecho de que la experiencia epidemiológica bajo dichos estándares había sido satisfactoria. Este razonamiento fue utilizado para justificar estándares que variaban desde un nivel medio de coliformes de menos de 2 400/100 ml hasta su ausencia absoluta.

Entre 1948 y 1950, el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos llevó a cabo importantes estudios epidemiológicos con el fin de determinar los riesgos para la salud que entrañaba practicar la natación en aguas contaminadas. Los resultados de esos estudios (10), realizados en 1948 en el lago Michigan, en Chicago y un año más tarde en el río Ohio en Dayton, Kentucky, demostraron que por medios epidemiológicos se podían detectar riesgos estadísticamente significativos a los niveles encontrados de 2 300 y 2 700 coliformes por 100 ml, respectivamente. Por su parte, los resultados de otro estudio, que se realizó en 1950 en las aguas marinas de Long Island Sound en New Rochelle y Mamaroneck, Nueva York, no mostraron ninguna relación entre los niveles de coliformes totales y las enfermedades relacionadas con la natación. Trabajos posteriores (6) efectuados en el tramo del río Ohio estudiado en 1949 indicaron que los coliformes fecales representaban 18% de los coliformes totales y que por lo tanto los efectos detectables para la salud podrían aparecer a un nivel de coliformes fecales cercano a NMP 400/100 ml. Aplicando un factor de seguridad —en que la calidad del agua debía ser mejor que la que podía afectar a la salud—, en 1968 el Comité Asesor Técnico Nacional (NTAC) para la Administración Federal del Control de la Contaminación del Agua (11) estableció un límite nacional de coliformes fecales de NMP 200/100 ml para las aguas dulce y marina, que se

basó principalmente en los dos estudios de agua dulce realizados por Stevenson (10).

Sin embargo, en 1972 el Comité sobre Criterios de Calidad del Agua de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos llegó a la siguiente conclusión: "No se hace ninguna recomendación específica concerniente a la presencia o concentración de microorganismos en aguas recreativas debido a la escasez de datos epidemiológicos válidos" (12). Posteriormente, en 1976, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos (13) presentó unas normas sobre coliformes fecales que coincidían esencialmente con las presentadas en el documento del NTAC (11). No obstante, el fundamento lógico principal se basaba en la relación de las concentraciones de coliformes fecales con la frecuencia de aislamientos de *Salmonella* en las aguas superficiales, y los descubrimientos de los estudios de Stevenson (10) fueron abandonados como teoría básica. En la guía final propuesta por la EPA se expone que, "basado en un mínimo no menor de cinco muestras tomadas en un período no mayor de 30 días, el contenido de coliformes fecales en aguas de uso recreativo de contacto primario no deberá exceder la media logarítmica de 200/100 ml, así como no más de 10% de las muestras totales tomadas durante cualquier período de 30 días deberá sobrepasar 400/100 ml" (13).

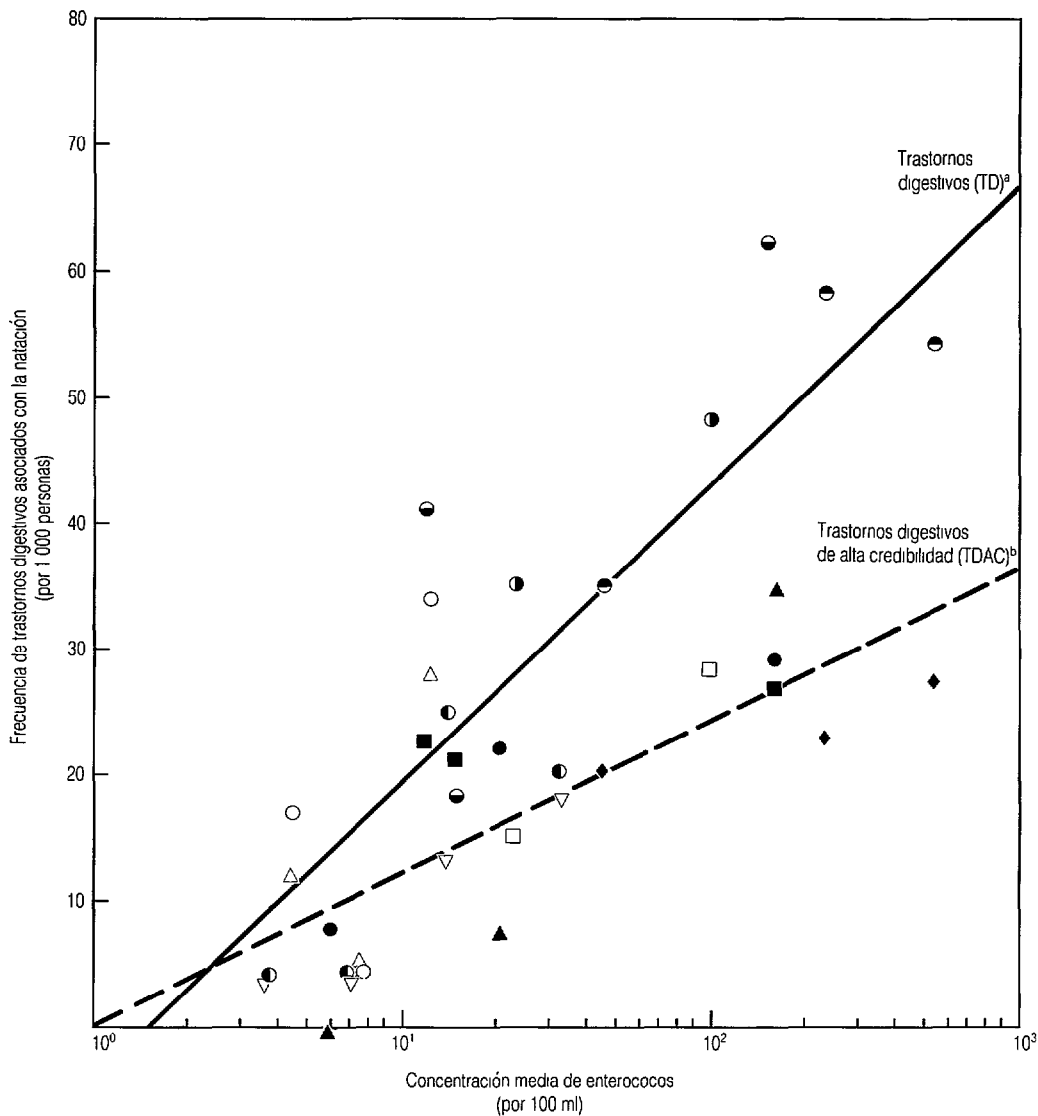
Más recientemente, basándose en un estudio de tres años (1973-1975) llevado a cabo en las playas de la ciudad de Nueva York, Cabelli *et al.* (6) llegaron a la conclusión de que los enterococos tomados como organismos indicadores dan la mejor correlación con los trastornos digestivos (vómito, diarrea, náusea o dolor de estómago) atribuidos a la natación en aguas contaminadas (14). Otros indicadores evaluados incluían coliformes totales y sus géneros componentes (*Escherichia*,

*Klebsiella*, *Citrobacter*, *Enterobacter*), coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium perfringens*, *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio parahaemolyticus* y *Salmonella*. Estudios posteriores realizados en los Estados Unidos confirmaron la idoneidad de los enterococos como organismos indicadores, y Cabelli (15) estableció una relación lineal entre la concentración media de enterococos por 100 ml y los trastornos digestivos asociados con la natación por 1 000 personas, como se presenta en la figura 1.

En 1974, la Organización Mundial de la Salud (OMS) convocó en Bilthoven, Holanda, una reunión de un grupo de expertos europeos sobre guías y criterios para la calidad recreativa de playas y aguas costeras. Estos expertos llegaron a la conclusión de que "los límites superiores recomendados para organismos indicadores deberían expresarse en términos generales de órdenes de magnitud en vez de en números específicos formulados rígidamente. Sin embargo, las áreas de natación más satisfactorias deben contener un número estable de colonias de *E. coli* inferior a 100/100 ml, y para ser consideradas aguas de uso recreativo aceptables no deben tener colonias de *E. coli* superiores a 1 000/100 ml" (16). Posteriormente, en 1977, otro grupo de expertos convocado en Atenas conjuntamente por la OMS y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (17) acordó que no había fundamentos para recomendar cambios en las conclusiones a las que había llegado el grupo de trabajo de la OMS reunido en Bilthoven en 1974. Por otra parte, en 1976 la Comunidad Económica Europea (18) publicó una serie de requisitos de calidad microbiológica para las aguas de uso recreativo (cuadro 1).

Actualmente la controversia continúa. La escuela de pensamiento encabezada por B. Moore indica que nadar en aguas moderadamente contaminadas no constituye un riesgo significativo para la salud pública y, por lo tanto, que las guías y estándares de coliformes no son aplicables y los problemas de contaminación de las playas deberían ser tratados más bien como problemas estéticos (2, 19). Sin embargo, investigaciones recientes llevadas a cabo en Inglaterra indican lo con-

**FIGURA 1. Relación entre la frecuencia de trastornos digestivos asociados con la natación y la concentración media de enterococos en aguas marinas, según diversos estudios realizados entre 1973 y 1978**



- |    |      |                          |
|----|------|--------------------------|
| TD | TDAC |                          |
| ●  | □    | Nueva York, 1973         |
| ●  | ▽    | Nueva York, 1974         |
| ●  | ▲    | Nueva York, 1975         |
| ●  | ◆    | Lago Pontchartrain, 1977 |
| ●  | ■    | Lago Pontchartrain, 1978 |
| ○  | △    | Puerto de Boston, 1978   |

<sup>a</sup>  $r = 0,82, Y = -5,09 + 24,19 \log X$

<sup>b</sup>  $r = 0,75, Y = 0,20 + 12,17 \log X$

**CUADRO 1. Requisitos de calidad microbiológica para las aguas de uso recreativo establecidos por la Comunidad Económica Europea**

Parámetro microbiológico	Guía	Obligatorio	Frecuencia mínima de muestreo
Coliformes totales/100 ml	500	10 000	Quincenal
Coliformes fecales/100 ml	100	2 000	Quincenal
Estreptococos fecales/100 ml	100	—	<sup>a</sup>
Salmonellas/l	—	0	<sup>a</sup>
Enterovirus PFU/10 l	—	0	<sup>a</sup>

Fuente: Referencia 18.

<sup>a</sup> Esta concentración debe ser revisada por las autoridades competentes cuando se haga una inspección de las aguas de uso recreativo y se encuentre que la sustancia puede estar presente o que la calidad de dicha agua se ha deteriorado.

trario (20). Asimismo, el grupo liderado por Cabelli insiste con firmeza en que existen pruebas epidemiológicas claras que apoyan la aplicación de guías y estándares para las aguas recreativas con objeto de proteger la salud pública (6, 21). Este mismo autor (6, 22) señala que los enterococos son los organismos indicadores principales, en lugar de los coliformes totales o fecales o *E. coli*, ya que reproducen mejor las características de supervivencia del agente etiológico, que define como el rotavirus humano con respecto a la gastroenteritis. En 1984, la EPA (23) recomendó por primera vez que los estados adopten los enterococos como organismos indicadores principales para las aguas de uso recreativo en lugar de los indicadores aplicados hasta entonces, principalmente los coliformes totales y fecales. Asimismo, este organismo indicó que, "utilizando el criterio existente de 200 bacterias de coliformes fecales por 100 ml, se han aceptado sin conocimiento niveles de riesgo de 15 y 6 enfermedades digestivas por 1 000 personas en aguas marina y dulce, respectivamente", y propuso que los futuros niveles de riesgo fueran iguales a los que actualmente se aceptan para el agua dulce, es decir, de 6 enfermedades digestivas por 1 000 bañistas. Por lo tanto, los criterios recomendados fueron de un límite de 20 enterococos/100 ml o 77 *E. coli*/100 ml para el agua dulce, y de 3 enterococos/100 ml para las aguas marinas. Estas guías se basan en los estudios de Dufour (24) y Cabelli (15), en que aplicaron ecuaciones empíricas elabora-

das para los trastornos digestivos de alta credibilidad asociados con la natación en aguas dulce y marina, respectivamente (véase figura 1).

En 1986, la EPA (25) revisó 51 comentarios sobre la propuesta citada emitidos por otros tantos funcionarios de salud pública, responsables de plantas de tratamiento, ingenieros y científicos de distintas universidades y del Gobierno, y adoptó los siguientes criterios nuevos: para el agua dulce, un máximo de 126 *E. coli* o 33 enterococos/100 ml, y para las aguas marinas, un límite de 35 enterococos/100 ml. Estos criterios constituyen la media geométrica de un número estadísticamente suficiente de muestras, generalmente no menos de cinco, tomadas a intervalos regulares durante un período de 30 días.

También se han establecido las densidades máximas permitidas para muestras aisladas de acuerdo con el uso de las playas (cuadro 2). Estos valores se basan en los niveles de riesgo de 8 y 19 casos de enfermedad digestiva por 1 000 bañistas en aguas dulce y marina, respectivamente, los cuales se estimaron como equivalentes a los niveles de riesgo para el límite de coliformes fecales de 200/100 ml.

## CUADRO 2. Criterios para concentraciones bacteriológicas indicadoras

Tasa aceptable de gastroenteritis asociada con la natación por 1 000 bañistas	Media geométrica estable de la concentración del indicador	Concentración máxima permitida para muestras aisladas en áreas de recreo <sup>a</sup>				
		Destinadas a playa (NC <sup>b</sup> > 75%)	De contacto primario de uso moderado (NC > 82%)	De contacto primario de uso ocasional (NC > 90%)	De contacto primario de uso infrecuente (NC > 95%)	
<i>Agua dulce</i>						
Enterococos	8	33 <sup>c</sup>	61	89	108	151
<i>Escherichia coli</i>	8	126 <sup>d</sup>	235	298	406	576
<i>Agua marina</i>						
Enterococos	19	35 <sup>e</sup>	104	124	276	500

Fuente: Adaptado de Dufour, A. P. y Ballentine, P. *Ambient Water Quality Criteria for Bacteria*. Washington, DC, US Environmental Protection Agency, 1986, p. 15 EPA A440/5-84-002.

$$^a \text{ Límite de la muestra aislada} = \text{antilog}_{10} \left[ \left( \frac{\text{media geométrica de la concentración del indicador}}{100 \text{ ml}} \right) + \text{factor determinado de las áreas por debajo de la curva probabilística normal para el nivel supuesto de probabilidad} \times \left( \log_{10} \text{desviación estándar} \right) \right]$$

Los factores apropiados para los niveles de confianza (NC) unilaterales son:

NC de 75% = 0,675

NC de 82% = 0,935

NC de 90% = 1,28

NC de 95% = 1,65

Los límites se basan en las desviaciones estándar de logaritmos observadas en los estudios de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA): 0,4 para *Escherichia coli* y enterococos en agua dulce, y 0,7 para enterococos en aguas marinas. Cada jurisdicción deberá establecer sus propias desviaciones estándar para sus condiciones, lo que entonces hará variar el límite de la muestra aislada.

<sup>b</sup> NC = nivel de confianza.

<sup>c</sup> Calculada al número entero más cercano utilizando la ecuación:  $\text{antilog}_{10} \frac{\text{tasa de enfermedad}/1\ 000 \text{ personas} + 6,28}{9,40}$

<sup>d</sup> Calculada al número entero más cercano utilizando la ecuación:  $\text{antilog}_{10} \frac{\text{tasa de enfermedad}/1\ 000 \text{ personas} + 11,74}{9,40}$

<sup>e</sup> Calculada al número entero más cercano utilizando la ecuación:  $\text{antilog}_{10} \frac{\text{tasa de enfermedad}/1\ 000 \text{ personas} - 0,20}{12,17}$

Sin embargo, se debe reconocer que la relación entre el microorganismo patógeno y el organismo indicador es variable, ya que depende de la salud general de la población que evacúa. Como informa Cabelli (15), el brote de shigelosis asociado con la natación ocurrido en el río Mississippi, aguas abajo de Dubuque, Iowa (26), representa un caso donde, aunque el límite de coliformes fecales de 200/100 ml probablemente fue excedido por algún tiempo, el brote no sobrevino hasta que hubo un número suficientemente grande de individuos enfermos y portadores en la población evacuadora. Asi-

mismo, comparaciones hechas por Cabelli (15, 22) entre diversos estudios epidemiológicos efectuados en Egipto y en los Estados Unidos indican la importancia del estado inmunitario de la población, ya que en los Estados Unidos las tasas de enfermedades digestivas se asociaron con la natación en aguas con concentraciones de enterococos mucho menores que en Egipto. Estos estudios también demostraron que los trastornos digestivos asociados

con la natación predominaban mucho más en los niños (de 10 años de edad o menores) que en los adultos. Esto subraya aun más la importancia de la inmunidad en la epidemiología de la gastroenteritis asociada con la natación.

## ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA EXISTENTES

El cuadro 3 presenta guías y estándares internacionales, nacionales y locales de varios indicadores de calidad del agua en bahías o ambientes marinos. Asimismo, el cuadro 4 muestra los estándares vigentes en 1978 para las aguas de uso recreativo de contacto primario de los Estados Unidos. Estos estándares varían mucho, y por lo tanto reflejan diferentes filosofías o grados de protección en el uso del agua. El factor principal que determina sus límites es el criterio en que se fundamentan, sea este epidemiológico, estético o ecológico.

Con la excepción del Brasil y Perú, la mayoría de los países de la Región que han establecido estándares nacionales los han adaptado directamente, con ínfimas modificaciones, de los que se aplican en los Estados Unidos, tal vez sin suficiente consideración de su realidad económica y prioridades de desarrollo. Al contrario de las naciones industrializadas, donde se lleva a cabo la mayor parte de las investigaciones, los países en desarrollo de América Latina deben destinar sus limitados recursos financieros a un número mayor de obras públicas de primera necesidad y de proyectos de desarrollo económico. Es importante, por tanto, que el planificador lleve a cabo una revisión detallada de las guías y estándares locales vigentes

(si los hubiera) para asegurarse de que se tengan razonablemente en cuenta las prioridades de desarrollo económico local. Los sistemas de control, tales como los emisarios submarinos, se encuentran entre los medios para la disposición de aguas residuales que requieren mayores gastos, aunque los costos correspondientes a toda su vida útil serán considerablemente menores en comparación con los del tratamiento secundario de aguas residuales vertidas cerca de la costa. Por consiguiente, la decisión de diseñar el sistema para otros estándares que no sean los mínimos de calidad del agua deberá apoyarse en una necesidad demostrada, o bien deberá ser una decisión política local o nacional reconocida.

El autor no ha podido encontrar ninguna investigación epidemiológica que fuera utilizada como base para promulgar el estándar del Brasil, el cual es aproximadamente cinco veces más alto que el que estableció para coliformes fecales la EPA y estuvo vigente en los Estados Unidos hasta 1986. Es razonable concluir que el estándar del Perú, que es idéntico al del Brasil, debió estar muy influenciado por este último. En 1986, la "Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental" (García Agudo, comunicación personal, 1986) inició una investigación epidemiológica para determinar la relación entre enfermedades asociadas con la natación y los indicadores microbiológicos para el Brasil. En Cuba y el Perú también se han elaborado propuestas para efectuar investigaciones similares.

Cabe subrayar que el establecimiento de estándares de calidad debe depender de los usos del agua actuales o previstos en cada lugar específico. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo se limita a una revisión histórica del desarrollo de criterios y la adaptación de guías y estándares para proteger los diferentes usos del agua.

Los niveles de coliformes, materia flotante y grasa y aceite generalmente son variables clave para el diseño de los sistemas de control municipales, mientras que los de sustancias tóxicas y la temperatura son generalmente más importantes para controlar

**CUADRO 3. Guías y estándares de calidad microbiológica del agua<sup>a</sup>**

País o entidad	Cosecha de mariscos			Aguas de uso recreativo de contacto primario			Protección de flora y fauna			Referencias
	Coliformes totales	Coliformes fecales	Otros micro-organismos	Coliformes totales	Coliformes fecales	Otros micro-organismos	Coliformes totales	Coliformes fecales	Otros micro-organismos	
Estados Unidos		14 <sup>b</sup> 90% < 43				35 <sup>b,c</sup>				13,25,27
Agencia para la Protección del Medio Ambiente California	70 <sup>d</sup> 90% < 230			80% < 1 000 <sup>e,f</sup> 100% < 10 000 <sup>g</sup>	200 <sup>b,f</sup> 90% < 400 <sup>h</sup>					28
Comunidad Económica Europea <sup>i</sup>				500 <sup>j</sup> 10 000 <sup>k</sup>	100 <sup>l</sup> 2 000 <sup>k</sup>	100 <sup>l</sup> 0/1km <sup>m</sup> 0 PFU <sup>n</sup> /l <sup>k,o</sup>				18
Brasil				80% < 5 000 <sup>p</sup> 1 000 <sup>p</sup>	80% < 1 000 <sup>p</sup> 200 <sup>p</sup> 90% < 400					29 30
Cuba										
México	70 <sup>d</sup> 90% < 230			80% < 1 000 <sup>f</sup> 100% < 10 000 <sup>g</sup>			10 000 <sup>d</sup> 80% < 10 000 100% < 20 000			31
Perú	80% < 1 000	80% < 200		80% < 5 000 <sup>q</sup>	80% < 1 000 <sup>q</sup> 200 <sup>r</sup>		80% < 20 000	80% < 4 000		32
Puerto Rico	70 <sup>r</sup> 80% < 230				80% < 400					33
Venezuela	70 <sup>p</sup> 90% < 230	14 <sup>b</sup> 90% < 43		90% < 1 000 100% < 5 000	90% < 200 100% < 400					34
Francia				<2 000	<500	<100 <sup>f</sup>				17
Israel				80% < 1 000 <sup>s</sup>						35
Japón	70			1 000			1 000			36
Polonia						<1 000 <sup>f</sup>				16
Unión Soviética						<100 <sup>f</sup>				17
Yugoslavia				2 000						35

<sup>a</sup> NPM por 100 ml; <sup>b</sup> Media logarítmica para un período de 30 días de por lo menos cinco muestras; <sup>c</sup> Enterococos. Véase cuadro 2; <sup>d</sup> Media mensual; <sup>e</sup> Período de 30 días; <sup>f</sup> Dentro de una zona situada entre el litoral y una distancia de 1 000 pies, o la curva de nivel de 30 pies aunque esté más lejos del litoral; <sup>g</sup> Ninguna muestra aislada tomada durante un período verificativo de 48 horas debe exceder de 10 000 coliformes totales/100 ml; <sup>h</sup> Período de 60 días; <sup>i</sup> Frecuencia mínima de muestreo quincenal; <sup>j</sup> Guía; <sup>k</sup> Obligatorio; <sup>l</sup> *Streptococcus fecales*; <sup>m</sup> *Salmonelas*; <sup>n</sup> PFV = unidad formadora de colonias; <sup>o</sup> Enterovirus; <sup>p</sup> Aguas "satisfactorias"; muestras obtenidas en cada una de las cinco semanas anteriores; <sup>q</sup> Por lo menos cinco muestras por mes; <sup>r</sup> Por lo menos cinco muestras tomadas secuencialmente en un momento dado; <sup>s</sup> Mínimo de 10 muestras por mes; <sup>t</sup> *Escherichia coli*.



**CUADRO 4. Estándares de coliformes totales y fecales para aguas de uso recreativo de contacto primario en los Estados Unidos de América, 1978<sup>a</sup>**

Estado o territorio	Año última revisión	Tipo de agua <sup>b</sup>	Límite de coliformes totales por 100 ml			Límite de coliformes fecales por 100 ml		
			Promedio	Percentil	Una muestra	Promedio	Percentil	Una muestra
Alabama <sup>1,2,3</sup>	77	M				100 <sup>c</sup>		
	77	M				200 <sup>c</sup>		
Alaska	79	T				20 <sup>d</sup>	90% ≤ 40	
Arizona	73	D				EPA <sup>e</sup>	EPA	
Arkansas	77	D				EPA	EPA	
California	78	M	1 000	80% ≤ 1 000		EPA	EPA	
	76	D	240 <sup>f</sup>		≤ 10 000	50 <sup>f</sup>	90% ≤ 400	
Carolina del Norte <sup>4,5</sup>	77	T				EPA <sup>g</sup>	80% ≤ 400	
Carolina del Sur	77	T				EPA	EPA	
Colorado	75	D				EPA	EPA	
Connecticut <sup>7,8,9</sup>	76	M	700 <sup>f</sup>	90% ≤ 2 300		EPA <sup>g</sup>	90% ≤ 500 <sup>h</sup>	
	76	D	1 000	80% ≤ 2 400		EPA <sup>g</sup>	96% ≤ 500 <sup>h</sup>	
Dakota del Norte	77	D				EPA	EPA	
Dakota del Sur	78	D				EPA	80% ≤ 200	≤ 400
Delaware	75	T				EPA		
Distrito de Columbia	,	T				EPA	EPA	
Florida	74	T	1 000 <sup>c</sup>	80% ≤ 1 000	2 400	EPA	EPA	≤ 800
Georgia <sup>1,2</sup>	77	M				100 <sup>c,10</sup>		
	77	D				200 <sup>b</sup>		
Hawai	74	T	1 000 <sup>f</sup>	90% ≤ 2 400		EPA	EPA	
Idaho	,	D				50 <sup>e</sup>	90% ≤ 200	≤ 500
Illinois	75	D				EPA	EPA	
Indiana <sup>11</sup>	78	D				EPA		≤ 400 <sup>b,j</sup>
Iowa <sup>12</sup>	77	D				EPA	EPA	
Kansas	78	D				EPA	EPA	
Kentucky <sup>13,14</sup>	76	D	1 000	80% ≤ 1 000	2 400	EPA <sup>15</sup>	EPA <sup>15</sup>	
Louisiana	77	T				EPA	EPA	
Maine	77	M	70 <sup>f</sup>	90% ≤ 230		1 000 <sup>f</sup>	90% ≤ 200	
	77	D				200 <sup>h,k</sup>		
Maryland <sup>16</sup>	74	T				EPA	EPA	
Massachusetts <sup>17</sup>	78	M	700 <sup>f</sup>	90% ≤ 1 000				
	78	D				EPA	EPA	
Michigan <sup>18</sup>	73	D				EPA		
Minnesota <sup>19</sup>	77	D				EPA	EPA	
Mississippi	77	T				EPA	EPA	
Missouri <sup>12,20</sup>	77	D				EPA	EPA	
Montana	78	D				EPA	EPA	
Nebraska	77	D				EPA	EPA	
Nevada	74	D				EPA	EPA	
Nueva Jersey <sup>9</sup>	74	T				EPA		
Nueva York <sup>13,21,22</sup>	74	T	2 400 <sup>f</sup>	80% ≤ 5 000		EPA		
Nuevo Hampshire <sup>13</sup>	77	T			240			
Nuevo México <sup>6</sup>	77	D				100 <sup>c</sup>	90% ≤ 200	
Ohio <sup>23</sup>	78	D				EPA	EPA	
Oklahoma	76	D				EPA	EPA	
Oregón <sup>24</sup>	,	M	240	80% ≤ 240				
	,	D	1 000	80% ≤ 2 400				
Pennsylvania <sup>22</sup>	,	T				EPA		
Rhode Island	77	M	700 <sup>f</sup>	90% ≤ 2 300		50 <sup>f</sup>		90% ≤ 500
	77	D	100 <sup>f</sup>	80% ≤ 2 400		200 <sup>h</sup>		80% ≤ 500 <sup>h</sup>

**CUADRO 4. (Continuación)**

Estado o territorio	Año última revisión	Tipo de agua <sup>b</sup>	Límite de coliformes totales por 100 ml			Límite de coliformes fecales por 100 ml		
			Promedio	Percentil	Una muestra	Promedio	Percentil	Una muestra
Tennessee <sup>1,25,26</sup>	77	D				EPA		≤1 000
Texas <sup>9</sup>	76	T				EPA	EPA	
Utah	78	D	1 000 <sup>c</sup>			EPA		
Vermont	78	D	500			200		
Virginia	77	T				EPA	EPA	
Virginia Occidental	77	D	1 000	80% ≤ 1 000	≤2 400	EPA	EPA	
Washington	77	M				14 <sup>1</sup>	90% ≤ 43 <sup>27</sup>	
	77	D				100 <sup>c</sup>	90% ≤ 200 <sup>6</sup>	
Wisconsin	78	D				EPA	EPA	
Wyoming	78	D				EPA	EPA	
Guam <sup>13</sup>	76	T				200	EPA	
Islas Vírgenes	73	T				70 <sup>c</sup>		
Puerto Rico	76	T				EPA	80% ≤ 400	
Samoa Americana	73	T				100	90% ≤ 200	
Territorio en fideicomiso	73	T				EPA	EPA	

**Fuente:** Tomado de Cabelli, V J *et al.* A marine recreational water quality criterion consistent with indicator concepts and risk analysis *J Water Pollut Control Fed* 55(10):1306-1314, 1983.

<sup>a</sup> No se incluyen todas las advertencias, requisitos especiales, limitaciones, etc.; <sup>b</sup> Marna = M; dulce = D; todas = T; <sup>c</sup> Media logarítmica, <sup>d</sup> Media, <sup>e</sup> Criterios de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA), de los Estados Unidos de América.; <sup>f</sup> Mediana.; <sup>g</sup> La media geométrica no debe exceder de 200/100 ml.; <sup>h</sup> Guía.; <sup>i</sup> Propuesta.; <sup>j</sup> En un mes.; <sup>k</sup> No debe rebasarse.

<sup>1</sup> Las aguas próximas al desagüe de plantas de tratamiento de aguas residuales no son apropiadas

<sup>2</sup> Consideradas como "aguas costeras" y "todas las demás aguas de uso recreativo".

<sup>3</sup> Cuando se rebasa el estándar, las aguas se consideran aceptables si una segunda recolección de datos y evaluación sanitaria indican que no existe riesgo público significativo.

<sup>4</sup> Solo es aplicable desde mayo hasta septiembre

<sup>5</sup> No es aplicable durante o inmediatamente después de períodos de lluvias

<sup>6</sup> Varía con la masa de agua; en la mayoría de los casos se usan los estándares dados, y en algunos casos se utilizan las guías de la EPA.

<sup>7</sup> Para ciertos ríos listados se necesita desinfección de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales y los estándares solo se aplican entre los meses de mayo y septiembre.

<sup>8</sup> "Las bacterias coliformes ( ) se relacionan con la probabilidad de contaminación por desagüe sin desinfección. Los resultados altos pueden ser debidos a bacterias procedentes del suelo o de las heces de animales de sangre caliente que no son significativos"

<sup>9</sup> Se requieren recolecciones de datos sanitarios.

<sup>10</sup> Si las campañas de recolección de datos sanitarios y de calidad del agua muestran que se excede ocasionalmente de 200/100 ml debido a "causas naturales", se establece el límite de la media logarítmica de 300/100 ml en lagos y embalses y de 500/100 ml en ríos de agua dulce de curso libre

<sup>11</sup> Solo es aplicable de abril a octubre.

<sup>12</sup> Aplicable del 1o. de abril al 31 de octubre.

<sup>13</sup> A menos que ocurra naturalmente.

<sup>14</sup> Si se rebasa el número de coliformes totales (CT), entonces se usa el de coliformes fecales (CF).

<sup>15</sup> Solo es aplicable de mayo a octubre.

<sup>16</sup> Las aguas que rebasan el estándar solo son aceptables si la encuesta sanitaria muestra que no hay riesgo público significativo.

<sup>17</sup> Excepto lo previsto en la Regla 2.1.

<sup>18</sup> Los límites pueden excederse debido a "fuentes dispersas no controlables".

<sup>19</sup> Los estándares solo se relacionan con aguas dentro del Estado.

<sup>20</sup> Excepto cuando son afectadas por escorrentía de aguas pluviales.

<sup>21</sup> Es aplicable solo cuando se practica desinfección.

<sup>22</sup> Para las aguas fronterizas internacionales bajo el Acuerdo de Calidad del Agua de los Grandes Lagos, de 1972; media logarítmica de CT de 1 000/100 ml y de CF, de 200/100 ml.

<sup>23</sup> Donde no hay salvavidas o instalaciones de vestidores, es aplicable la media logarítmica de 1 000/100 ml, 90% ≤ 2 000/100 ml

<sup>24</sup> Donde haya "contaminación bacteriana u otras condiciones dañinas para las aguas usadas para bañarse ( ) o estas sean perjudiciales para la salud pública, no se permitirá su uso recreativo".

<sup>25</sup> ≤ 1/100 ml fijado como 1/100 ml al calcular la media logarítmica.

<sup>26</sup> No pueden tomarse muestras individuales dentro de un tiempo inferior a 12 horas entre tomas.

<sup>27</sup> El estándar dado es para aguas de clase A (excelente), que "deben tener o exceder los estándares para todos o prácticamente todos los usos " El estándar de clase AA para agua dulce (extraordinario) es la mediana de CT de 50/100 ml, 90% ≤ 100/100 ml, y el de clase B para agua dulce (buena) es la mediana de CF de 200/100 ml, 90% ≤ 400/100 ml; para las aguas marinas, el estándar es el mismo que el de la clase A para agua dulce

<sup>28</sup> El criterio principal es la encuesta sanitaria para asegurar la protección; los límites bacteriológicos son guías.

las emisiones industriales. Otras variables, como los nutrientes y el oxígeno disuelto, en general no suscitan graves preocupaciones a menos que la descarga se haga en ensenadas o aguas costeras poco profundas, donde es difícil que se diluyan.

## ESTÁNDARES PARA MARISCOS

Los criterios más estrictos sobre concentraciones de coliformes y sustancias tóxicas se aplican en las zonas donde se cosechan mariscos. Algunos mariscos, tales como las ostras, almejas, mejillones, conchas, etc. que se alimentan filtrando el agua, tienden a concentrar contaminantes y proveen un ambiente favorable para la proliferación de organismos perjudiciales para la salud. Se ha demostrado que aun en aguas que contienen un número relativamente bajo de microbios dañinos, se pueden producir mariscos con concentraciones microbianas suficientes para transmitir enfermedades. Como informa Wood (37), la transmisión de enfermedades enteropatógenas por mejillones contaminados se notificó por primera vez a fines del siglo XIX en relación con la fiebre tifoidea. Desde entonces, los mariscos contaminados se han asociado con la transmisión de muchas otras enfermedades, entre las cuales se incluyen fiebre paratifoidea, cólera, hepatitis vírica y muchas otras afecciones gastroentéricas.

En 1976 (13), la EPA recomendó que la "evaluación de la idoneidad microbiológica de las aguas para la pesca deportiva de mariscos se base en las concentraciones de bacterias coliformes fecales. Cuando sea posible, las muestras deberán tomarse bajo las condiciones de marea y lluvia regular en que es más probable que se alcance la contaminación máxima en la zona por clasificar. La

mediana de coliformes fecales no debe exceder de un NMP 14/100 ml y no más de 10% de las muestras deberán superar un NMP 43/100 ml". En ese informe, la EPA señala que sus recomendaciones se basan principalmente en el criterio microbiológico de calidad del agua para la cosecha de mariscos aceptado internacionalmente: 70 coliformes totales/100 ml, usando una mediana de NMP, con no más de 10% de los valores de las muestras que excedan de 230 coliformes totales/100 ml. Las guías sobre coliformes fecales recomendadas simplemente se derivaron de la relación entre coliformes fecales y totales (alrededor de 20%), basada en más de 3 500 recopilaciones de datos hechas en los Estados Unidos. Otros estándares para mariscos se presentan en el cuadro 3.

## ESTÁNDARES PARA LAS ZONAS DE MEZCLA

Al diseñar emisarios submarinos para la disposición final de aguas residuales, se deberá tener en cuenta el establecimiento de un grupo separado de estándares aplicables a la zona circunvecina del difusor. El propósito de esta *zona de mezcla* es asignar una región limitada para la mezcla completa del efluente con el agua marina. Como es obvio, el agua de esta zona no cumple con las normas y tiene usos limitados. Usualmente abarca un volumen que se extiende entre 50 y 600 m en todas las direcciones a partir de la zona inicial de dilución. Los estándares de la zona de mezcla en general se limitan a las variables de calidad del agua para controlar la toxicidad aguda (normalmente determinada por medio de bioensayos con organismos indígenas) y para mantener la apariencia estética. No se suelen imponer estándares de organismos coliformes en la zona de mezcla a menos que el difusor esté muy cerca de las zonas de recolección de mariscos o de aguas de uso recreativo. Por lo común, los estándares de la zona de mezcla no incluyen la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el oxígeno disuelto ni los nutrientes.

# CONCLUSIONES

La información presentada en los cuadros 3 y 4 ofrece al ingeniero sanitario los límites de calidad del agua, principalmente para coliformes totales y fecales como organismos indicadores. A pesar de que han transcurrido más de 60 años desde su primera aplicación, el intervalo de tres órdenes de magnitud se acepta a nivel mundial. La cantidad de estudios epidemiológicos que justifican las normas para coliformes totales y fecales es muy limitada; además, su aplicación puede representar costos muy elevados para los sistemas de control. Por lo tanto, no es conveniente la simple adaptación de un grupo particular de estándares sin una revisión cuidadosa de las circunstancias y de los factores socioeconómicos locales y nacionales.

Los estudios de Cabelli (15) han aportado por primera vez una relación cuantitativa entre el riesgo de enfermedad y la concentración de organismos indicadores (enterococos), pero el nivel de salud general y el estado inmunitario de la población local son factores que obligan a considerar cuidadosamente si puede o no aplicarse directamente esa relación en una zona determinada. En consecuencia, se recomienda, especialmente a los países en desarrollo que deben establecer prioridades para obras de primera necesidad con recursos económicos limitados, que efectúen estudios epidemiológicos locales dirigidos específicamente a determinar la relación entre enfermedad y organismo indicador. Las metodologías desarrolladas por Cabelli (15) proveen un modelo de investigación cuyos costos son justificables frente a los grandes gastos que suponen los sistemas de control. Asimismo, la validez de cualquier factor de riesgo para la salud humana depende de su aplicabilidad al contexto socioeconómico local.

# REFERENCIAS

- 1 Simons, G. W., Hilscher, R., Ferguson, H. F. y Gage, S. de M. Report of the Committee of Bathing Places. *Am J Public Health* 12(1):121-123, 1922.
- 2 Moore, B. The case against microbial standards for the bathing beaches. In: Gamerson, A. L. H., ed. *Discharge of Sewage from Sea Outfalls*. Londres, Pergamon Press, 1975, p. 103.
- 3 Winslow, C. E. A. y Moxon, D. Bacterial pollution of bathing beaches in New Haven Harbor. *Am J Hyg* 8:299, 1928.
- 4 Coburn, S. E. Survey of the pollution of rivers and lakes in the vicinity of Rochester, N.Y. *Ind Eng Chem* 22:1336, 1930.
- 5 Ludwig, R. G. *Marine Outfall Planning and Design*. São Paulo, ENCIBRA, SA, 1983.
- 6 Cabelli, V. J., Dufour, A. P., McCabe, L. J. y Levin, M. A. A marine recreational water quality criterion consistent with indicator concepts and risk analysis. *J Water Pollut Control Fed* 55(10):1306-1314, 1983.
- 7 Streeter, H. W. *Bacterial Quality Objectives for the Ohio River: A Guide for the Evaluation of Sanitary Conditions of Waters Used for Potable Supplies and Recreational Uses*. Cincinnati, Ohio River Valley Water Sanitation Commission, 1951.
- 8 Scott, W. J. Sanitary study of shore bathing waters. *Bull Hyg* 33:351, 1951.
- 9 Garber, W. F. Bacteriological standards for bathing waters. *Sewage Ind Waters* 28:795, 1956.
- 10 Stevenson, A. H. Studies of bathing water quality and health. *J Am Public Health Assoc* 43:529, 1953.
- 11 Estados Unidos de América, Administración Federal para el Control de la Contaminación del Agua, Comité Asesor Técnico Nacional. *Water Quality Criteria*. Washington, DC, 1968, p. 7.
- 12 Estados Unidos de América, Academia Nacional de Ciencias y Academia Nacional de Ingeniería, Comité sobre Normas de Calidad del Agua. *Water Quality Criteria*. Washington, DC, 1972. EPA-R3-73-033.
- 13 Estados Unidos de América, Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA), Oficina para la Planificación y Estandarización del Agua. *Quality Criteria for Water*. Washington, DC, 1976, p. 537. EPA-440/9-76-023.
- 14 Estados Unidos de América, Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA). *Test Methods*

for *Escherichia coli* and *Enterococci* in Water by the Membrane Filter Procedure. Washington, DC, US Department of Commerce, 1985, p. 30. EPA-600/4-85-076.

- 15 Cabelli, V. J. *Health Effects Criteria for Marine Recreational Waters*. Washington, DC, Environmental Protection Agency (EPA), 1984, p. 98. EPA-600/1-80-031.
- 16 Organización Mundial de la Salud. *Guide and Criteria for Recreational Quality of Beaches and Coastal Waters*. Bilthoven, 28 Oct. - 1 Nov. 1974. Ginebra, 1975.
- 17 Organización Mundial de la Salud. *Health Criteria and Epidemiological Studies Related to Coastal Water Pollution*. Athens, 1-4 March 1977. Ginebra, 1977.
- 18 Comunidad Económica Europea. Council Directive of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water. *Off J Eur Communities* 19:L 31, 1976.
- 19 Moore, B. Sewage contamination of coastal bathing waters in England and Wales: A bacterial and epidemiological study. *J Hyg* 57:435, 1959.
- 20 Brown, J. M., Campbell, E. A., Rickards, A. D. y Wheeler, D. Sewage pollution of bathing water (carta). *Lancet* 2(8569):1208-1209, 1987.
- 21 Cabelli, V. J. Evaluation of recreational water quality. The EPA approach. In: *Biological Indicators of Water Quality*. Chichester, Ed. J. A. & E. L. Wiley, 1979, cap. 14.
- 22 Cabelli, V. J. *Epidemiology of Enteric Viral Infections*.
- 23 Estados Unidos de América, Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA). Water quality criteria. Request for comments. *Fed Regist* 49(102), 1984.
- 24 Dufour, A. P. *Health Effects Criteria for Fresh Recreational Waters*. Cincinnati, Environmental Protection Agency (EPA), 1984, p. 33. EPA-600/1-84-004.
- 25 Estados Unidos de América, Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA). Bacteriological ambient water quality criteria availability. *Fed Regist* 51(45):8012, 1986.
- 26 Rosenburg, M. L. Shigellosis from swimming. *J Am Med Assoc* 236:1849, 1976.
- 27 Dufour, A. P. y Ballentine, P. *Ambient Water Quality Criteria for Bacteria - 1986 (Bacteriological ambient water quality criteria for marine and fresh recreational waters)*. Washington, DC, Environmental Protection Agency (EPA), 1986, p. 18. EPA-440/5-84-002.
- 28 Estados Unidos de América, Consejo para el Control de los Recursos Hídricos del Estado de California. *Water Quality Control Plan for Ocean Waters of California*.
- 29 Brasil, Ministério del Interior. *Aguas de balneabilidade, Portaria No. 536*. Brasília, 1976.
- 30 Cuba, Ministerio de Salud. *Higiene comunal, lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénicos sanitarios*. La Habana, 1986, pp. 93-97.
- 31 México. *Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas*.
- 32 Perú, Ministerio de Salud. *Modificaciones a los Artículos 81 y 82 del Reglamento de los Títulos I, II y III de la Ley General de Aguas. Decreto Supremo N 007-83-SA*. Lima, 1983.
- 33 Puerto Rico, Junta de Calidad Ambiental. *Reglamento de estándares de calidad del agua, 28 de febrero de 1983*. San Juan, 1983.
- 34 Venezuela. *Reglamento parcial No. 4 de la Ley Orgánica del Ambiente sobre Clasificación de las Aguas*. Caracas, 1978.
- 35 Argentina, Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH). *Estudio de la factibilidad de la disposición en el mar de los efluentes cloacales de la ciudad de Mar del Plata. Informe final*. Buenos Aires, Secretaría de Recursos Hídricos de Argentina, 1984.
- 36 Japón, Agencia para la Protección del Medio Ambiente. *Environmental Laws and Regulations in Japan. (III) Water*. Tokio, 1981.
- 37 Wood, P. C. *Public Health Aspects of Shellfish from Polluted Waters*. Cap. 13.

# SUMMARY

## MARINE WATER QUALITY: HISTORY AND APPLICATION OF MICROBIOLOGICAL STANDARDS

The history and application of microbiological standards to measure the quality of seawater for primary-contact recreational use and for the harvesting of shellfish are reviewed. Recent research concludes that enterococci, as indicator organisms, provide the most accurate correlation with gastrointestinal disorders attributed to swimming in contaminated waters. Accordingly, a linear relation has been established between mean enterococcus density per 100 ml and swimming associated gastrointestinal disorders per

1 000 population, and in 1984 the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) adopted these bacteria as the primary indicator organisms for recreational waters in lieu of the indicators applied up til then, mainly total and fecal coliforms. International, national, and local microbiological standards and guidelines are presented to provide the sanitary engineer with a water quality range for the marine environment. Before adaptation of particular set of standards, local and national circumstances as well as socioeconomic factors should be carefully reviewed. Moreover, the application of quantitative relationships between health risks and the level of indicator organisms should take into account the general health and immunity conditions of the local population.

## Boletín de Investigación de Servicios de Salud

Se acaba de publicar el número inaugural de este boletín cuatrimestral, esfuerzo conjunto del Programa de Investigación y Desarrollo de Sistemas de Salud de la OMS, la OPS, la Red Internacional de Epidemiología Clínica y la Fundación para la Investigación de Servicios de Salud, con el apoyo de la Fundación Rockefeller. Su objetivo es facilitar el intercambio de ideas entre los investigadores sobre sistemas de salud y epidemiología clínica y las autoridades de salud encargadas de adoptar decisiones. El boletín incluirá comentarios por autores invitados, investigaciones en marcha, noticias internacionales, nuevos métodos, reseñas de publicaciones, anuncios de reuniones y otros datos provenientes de numerosos programas y organismos internacionales de salud. Aunque enfoca principalmente los países en desarrollo, pretende servir de "puente" entre estos y los más desarrollados. De hecho, la edición en inglés se titula *Bridge*. Suscríbase, colabore o envíe sus comentarios a: BISS, Foundation for Health Services Research, 2100 M St. NW, Suite 402, Washington, DC 20037, EUA. FAX: (202) 835-8972.