

# Estudio del Comportamiento de la Contaminación Bacteriana en la Bahía de Cartagena

YURI S. TUCHKOVENKO.<sup>1</sup> Y SILVIA R. RONDÓN.<sup>2</sup>

## RESUMEN

El presente trabajo describe los resultados obtenidos del monitoreo de estaciones en la Bahía de Cartagena durante el periodo entre 1999-2000. Las tres épocas climáticas del año fueron tomadas en consideración.

Los valores más altos fueron reportados durante la época de transición y época de lluvias, encontrándose una correlación entre la contaminación bacteriana y la precipitación lluviosa en el área. Sin embargo durante todo el año se observa una contaminación crónica en la Bahía de Cartagena, excediéndose los límites permitidos para contacto primario y secundario.

## ABSTRACT

This paper describes the results obtained by the sequential monitoring of stations in Cartagena Bay during 1999-2000. The three climatic seasons of the year were taken into consideration.

The highest values were found during the transitional and wet season. Where it exists a close correlation between bacterial pollution and the precipitation in the area. However, during the whole year a chronic pollution in the Bay can be observed, which exceeds the allowed limits for a primary and secondary contact.

## INTRODUCCIÓN

La microflora presente en las aguas estuarinas se encuentra muy influenciada por la contaminación con aguas residuales domésticas, las cuales debido a su alto contenido de principios nutritivos orgánicos e inorgánicos favorecen el crecimiento de diversas especies de bacterias y hongos; algunas de las cuales son patógenas.

Aunque el desarrollo de estas especies se encuentra limitado por las condiciones físico - químicas presentes en el estuario, algunas de ellas conservan su virulencia representando gran riesgo para la salud de la comunidad que hace uso de este recurso y para actividades como natación, buceo, deportes náuticos y pesca; cabe mencionar que las bacterias patógenas se encuentran también en productos de mar provenientes de estas aguas teniéndose reportes de epidemias de tífus y cólera por el consumo de mariscos, ostras y mejillones crudos contaminados.

La ciudad de Cartagena, situada en la ribera de la bahía del mismo nombre, es famosa en todo el mundo como un centro histórico y de recreo. Entretanto, cada día son vertidos de la ciudad a la bahía cerca de 60.525 m<sup>3</sup> de desagües domésticos sin tratamiento; es obvio, que teniendo en cuenta esta situación, es muy importante el control de la calidad de las aguas de la bahía, con el fin de prevenir el

<sup>1</sup> PHD Ingeniero Oceanólogo, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas.

<sup>2</sup> Bacterióloga, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Email: srrondon@cioh.org.co

peligro de contaminación por bacterias patógenas.

Debido a que el proceso para identificación de cada una de las bacterias patógenas presentes en un cuerpo de agua contaminado requiere la realización de procesos de aislamiento y pruebas bioquímicas especiales, siendo procesos lentos y laboriosos, la demostración de la contaminación por estas bacterias se efectúa mediante el análisis de bacterias indicadoras que sean de más rápida y fácil detección, las cuales se utilizan para actividades propias de seguimiento y evaluación de la contaminación microbiológica.

El grupo de organismos Coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana, ya que son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, se encuentran presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección (Brock y Madigan, 1991).

El grupo de organismos Coliformes está conformado por bacterias aeróbicas o anaeróbicas facultativas, gram negativas, no formadoras de esporas, con forma de bastón, las cuales fermentan la lactosa con producción de gas en 48 horas a 35° C, los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales y son capaces de fermentar la lactosa a +4.5°C.

Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, se conforman por *Escherichia coli* y algunas especies de *Klebsiella*. La especie *Escherichia coli* se desarrolla en el intestino del hombre y de los animales homeotermos, los otros gérmenes coliformes son a menudo también de origen fecal, pero se multiplican también en las aguas residuales, superficiales y en general se pueden encontrar en el medio ambiente, por ello se consideran los coliformes fecales como un indicador más significativo debido a que ellos se restringen al tracto digestivo y por lo tanto su presencia en el agua indica la contaminación previa de origen fecal.

Es ampliamente conocido que la contaminación fecal realizada a sistemas acuáticos puede causar potenciales problemas de salud pública en la comunidad. Los microorganismos entéricos patógenos que habitan el intestino de animales de sangre caliente son típicamente vertidos en las heces, la presencia de estos patógenos potenciales incluyen bacterias, virus, protozoos y posiblemente especies de hongos, ellos pueden ser indicados por la presencia del grupo de bacterias Coliformes fecales, las cuales conforman cerca de una tercera parte del peso seco de las heces y se encuentran presentes en gran número; su nivel es tres o cuatro órdenes mayor que la concentración de bacterias patógenas bajo condiciones óptimas (Hazen y Sawyer 1994).

Se han realizado varios estudios que correlacionan el desarrollo de enfermedad y el contenido de coliformes totales y fecales, Smith, et.al. (1951) efectuó una investigación en las playas para bañistas del lago Michigan, observando un incremento estadístico significativo en la incidencia de enfermedad entre nadadores en días seleccionados, en los cuales el contenido promedio en el agua de coliformes totales fue de 2300 por 100 ml; en un estudio similar en el río, la cantidad de coliformes totales fue de 2700 por 100 ml, manifestando la correlación positiva entre el número de coliformes totales y el incremento del riesgo de enfermedad asociada con natación en estas aguas.

En un importante estudio de la costa occidental de Australia Kovacks y Snow (1959) estudiaron un brote de fiebre tifoidea asociado con nadadores en playas contaminadas; una descarga de agua cloacal sin tratamiento fue localizada a una milla de la playa de baño donde los casos de tifoidea ocurrieron, observándose que cuando se sobrepasa el nivel de 200 coliformes fecales por 100 ml, se incrementa el riesgo de los nadadores de tener contacto con organismos patógenos, teniéndose una correlación entre el nivel de coliformes fecales y el nivel de microorganismos patógenos, por ello los coliformes fecales se utilizan como indicadores de la calidad del agua (Hazen y Sawyer, 1994).

La EPA (Environmental Protection Agency) documenta que existe una correlación entre la cantidad de coliformes fecales y la presencia de Salmonella, aumentándose agudamente la presencia de Salmonella cuando el nivel de coliformes fecales sobrepasa el valor de 200 colonias por 100 ml, en aguas estuarinas que reciben contaminación fecal directa. La presencia de Salmonella fue indicada aproximadamente en el 28% de todas las muestras cuando el valor de coliformes fecales sobrepasó 200 colonias por 100 ml; en un estuario con rango de coliformes fecales de 201 a 2000 se observó una positividad de Salmonella del 60% en las muestras analizadas.

La EPA (Environmental Protection Agency) documenta también que existe una dosis mínima de bacterias para infectar un bañista. Se han reportado de 3 a 5 organismos de Salmonella Typhi, el agente causante de la fiebre tifoidea como causantes de infección, mientras que 100.000 a 10'000.000 de células de otros serotipos de Salmonella pueden requerirse para producir enfermedad. Es importante destacar que la Salmonella typhi se encuentra presente en mucho mas bajo número que otros serotipos de Salmonella.

Por todo lo anterior es muy importante el realizar un monitoreo de las condiciones bacteriológicas basado en la determinación de bacterias indicadoras con el fin de prevenir problemas de salud pública que se puedan presentar en la comunidad que utiliza el recurso para fines de contacto primario como natación y buceo o para fines de contacto secundario como deportes náuticos y pesca.

El propósito de este trabajo es la descripción de la condición actual de la contaminación de la Bahía de Cartagena por bacterias patógenas, mediante la determinación de indicadores de contaminación fecal. En este trabajo se emplean los datos del monitoreo ecológico de las aguas de la Bahía, realizado por CIOH a partir del año 1996.

En Colombia la normatividad utilizada para evidenciar la calidad del agua y los criterios de calidad admisibles

para el uso del agua con fines recreativos es la contemplada en el decreto 1594 del 26 de junio de 1984 del Ministerio de Salud artículos 34, 42 y 43, en el cual se estipulan los siguientes límites superiores del contenido de coliformes de acuerdo al uso que se le dé al recurso agua:

- Para la zona de contacto primario del hombre con el agua (como en natación y el buceo): 200 microorganismos/100 ml para Coliformes fecales y 1000 mic.org./100 ml para Coliformes totales.
- Para la zona de contacto secundario del hombre con el agua (como en los deportes náuticos y la pesca): 5000 mic.org./100 ml para Coliformes totales.

Es obvio que si consideráramos la ciudad de Cartagena como un balneario mundial, entonces, como zona del primer contacto tenemos que considerar no sólo las playas, sino también toda la cuenca de la bahía Interior de Cartagena, en la ribera de la cual se sitúan los hoteles y la parte histórica de la ciudad.

## METODOLOGIA

Para la determinación de Coliformes totales y fecales se empleó la metodología de tubos múltiples de fermentación de acuerdo al Standard Methods APHA (1992), tomando a partir de la muestra alícuotas de 10 ml, 1ml y 0,1 ml las cuales se inoculan asépticamente en los tubos que contienen 10 ml del medio de cultivo líquido.

Se realizaron las pruebas presuntiva y confirmatoria, se efectuó adicionalmente para los Coliformes fecales el test de Mackenzie, con el fin de evaluar la producción de indol y gas a 44.5°C. Es importante destacar que fue necesario realizar varias diluciones de algunas de las muestras debido a su alto contenido bacteriano. Por último el número de tubos identificados como positivos por grado de dilución se comparó con la tabla de evaluación de McCrady encontrando el número de gérmenes más probable referido a 100 ml de agua de la muestra.

## ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de Cartagena está ubicada en la costa Atlántica de Colombia en una zona con las coordenadas 10°26' - 10°16' N y 75°30' - 75°36' OE (ver Fig. 1). Se considera por definición geológica una bahía (Schaus, S.H., 1974), sin embargo, tiene una significativa fuente de aguas fluviales provenientes del Canal del Dique que aporta aguas del río Magdalena.

Por éstas razones, en la actualidad se le da el calificativo de estuario. La Bahía de Cartagena, con una superficie de 82 km<sup>2</sup> y una profundidad promedio de 16 m, es el principal componente del sistema marino de Cartagena.

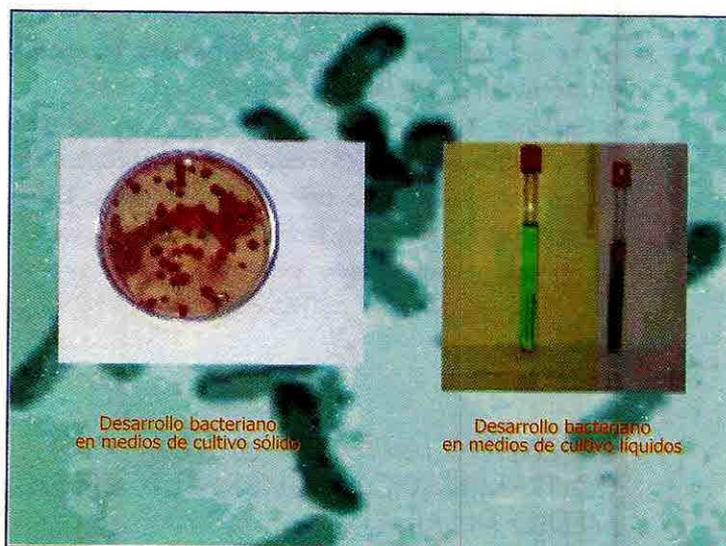
Su origen se atribuye a la formación de barreras naturales de coral que se extendieron paralelamente a la costa y se consolidaron hacia finales del período Cuaternario Superior (Proyecto GEF/RLA/93/G41 UNOPS-CIOH 1997).

La bahía consta de las dos partes: la bahía Externa e Interna. La primera está conectada con el Mar Caribe a través de los dos estrechos, mientras que la segunda se ubica en la parte norte y no tiene intercomunicación directa con el mar, solo comunicándose con la Bahía Externa, en las costas de la bahía Interna está ubicada la ciudad de Cartagena.

En las costas de la bahía de Cartagena se encuentran ubicadas 17 fuentes domésticas, las cuales aportan las bacterias patógenas al medio marino de ésta. La posición de estas fuentes se muestra en la Fig.1 y sus caudales en la Tab.1 (ACUACAR, 1996).

El contenido promedio de Coliformes fecales en las aguas de estas fuentes se estima en un nivel de 10<sup>8</sup> NMP/100ml.

A la parte sur de la bahía Externa ingresan las aguas dulces del canal del Dique, conectando la bahía con el Río Magdalena. El canal, que tiene el origen



Desarrollo bacteriano en medios de cultivo sólido

Desarrollo bacteriano en medios de cultivo líquidos

Crecimiento bacteriano en medios de cultivo sólidos con formación de colonias y en medios de cultivos líquidos con enturbiamiento y producción de CO<sub>2</sub>

N	CAUDAL Q, m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup>	N	CAUDAL Q, m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup>
01	40	11	150
02	3500	12	100
03	300	13*	25000
04	20	14	1000
05	200	16	11000
06	150	17	2000
07	40	18	2000
10	25	19**	15000

\* - Emisario Submarino, \*\* - Canales Abiertos.

Tabla 1 Caudales de las fuentes doméstico - vitales que contaminan la Bahía de Cartagena (Ver Fig.1).

artificial, está afectando a la bahía de Cartagena en tal manera que ella perdió su rastro inicial, convirtiéndose en una cuenca estuarina. El caudal del canal del Dique cambia a través del año de 55 m<sup>3</sup>(s<sup>-1</sup>) en la época seca del año (febrero - abril) hasta 250 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en la época de lluvias (septiembre - octubre).

El canal del Dique también representa de por sí, una potente fuente de bacterias patógenas, debido a que en él se vierten las aguas sucias de desagüe de muchas fincas y pueblos contiguos; así como las provenientes del interior del país.

La Bahía presenta un estado de máximo deterioro en la calidad de sus aguas, debido a la anoxia predominante en la mayor parte del fondo del ecosistema, al incremento paulatino de los episodios de eutroficación por el exceso de nutrientes de origen antrópico, a la presencia de tóxicos como algunos metales pesados, hidrocarburos y plaguicidas, en aguas sedimentos y organismos. (Proyecto GEF/RLA/93/G41 UNOPS-CIOH 1997).

### DEPENDENCIA DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE LOS FACTORES DEL MEDIO MARINO.

Debido a que el medio marino no es óptimo para el desarrollo de bacterias patógenas, su cinética puede ser descrita con base en una ecuación de primer orden:

$$\frac{dC}{dt} = -K_{ad}C \quad (1)$$

por medio de la tasa específica de mortalidad ( $K_{ad}$ ), y de la concentración inicial  $C_0$ , dadas.

Conforme con Mancini (1978), la tasa de mortalidad en el medio marino de las bacterias del grupo Coliformes varía en dependencia de la salinidad, la temperatura del agua marina por la ley:

$$K_{ad} = K_m \rho^{(S)} \rho^{(T-20)} \quad (2)$$

donde  $K_m$  - tasa de mortalidad de los coliformes en la oscuridad, con temperatura del agua de  $T=20^\circ\text{C}$ , salinidad  $S=0$  ‰ ( $K_m \approx 0.8 \text{ dia}^{-1}$ );  $\rho_s^{(S)}$ ,  $\rho_T^{(T-20)}$  - coeficiente de corrección en condiciones termohalinas in situ ( $\rho_S=1.006$ ), ( $\rho_T=1.07$ ). El valor  $K_{ad}$  puede ser determinado en base a los resultados de experimentos especializados, en el curso de los cuales se determina el tiempo de destrucción del 90 % de la concentración inicial de microorganismos ( $T_{90}$ ) manteniendo las condiciones lo mas cercanas posibles a las naturales:

$$K_{ad} = \ln 10 / T_{90} \quad (3)$$

De acuerdo con la fórmula (2), la tasa de mortalidad de los Coliformes se incrementa con el aumento de la temperatura y salinidad. Se sabe también que la luz solar posee una acción desinfectante con relación a las bacterias patógenas. Por esto la tasa de mortalidad de los Coliformes en tiempo diurno debe ser mayor. Los datos de los experimentos especializados realizados por CIOH en el año de 1998 comprueban esto. Durante la iluminación diurna, el valor  $T_{90}$  fue de 1 hora, y en tiempo nocturno  $T_{90} = 4$  horas.

Existe un gran número de factores físicos y químico que influyen en el desarrollo de los microorganismos en las aguas y por ende en su tasa de mortalidad; esta influencia no se limita al volumen y composición específica de las poblaciones microbianas, sino que repercute también sobre la morfología y fisiología bacterianas algunos de los factores físicos y químicos más importantes sobre el desarrollo de los microorganismos en las aguas son los siguientes:

**La Luz.** La influencia negativa de la luz sobre la vida de las bacterias es mayor en las capas próximas a la superficie de las aguas en las regiones geográficas expuestas a una intensa radiación solar; si se trata de aguas muy turbias la inhibición causada por la luz es posible únicamente en la capa superior de pocos centímetros de espesor; debido a que la profundidad de la zona de inhibición depende de la intensidad de la radiación solar y de la turbidez del agua; en los lagos y regiones marinas de aguas muy claras los efectos negativos de la luz se extienden a varios metros de profundidad, por ello es muy probable que el número relativamente bajo de bacterias que pueblan la superficie de algunos mares se deba precisamente a los efectos de la intensa iluminación.

**Temperatura.** Las manifestaciones vitales de todos los microorganismos están supeditadas a la temperatura, los efectos inequívocos producidos por la temperatura sobre las manifestaciones vitales de las bacterias in vitro, en cultivos puros y en condiciones óptimas,

se observan difícilmente o nunca en la naturaleza, ya que aquí se ven involucrados un gran número de seres vivos muy diversos, cuyos procesos cursan antagónica o paralelamente, de allí que la influencia de la temperatura no pueda determinarse siempre para cada una de las especies por separado. Por otra parte no es extraño que se reúnan simultáneamente varios efectos superpuestos, ello ocurre en particular en las aguas muy contaminadas, ya que la elevación de la temperatura intensifica la actividad y acorta el periodo generativo, pero a la vez aumenta la acción tóxica y acelera la autólisis. Por tanto, las condiciones de un medio acuático determinado pueden ser favorables para ciertos microorganismos, dando lugar a su multiplicación rápida, y desfavorable para otros, provocando su muerte casi inmediata. Este es el caso de muchas bacterias de las aguas residuales, del agua dulce y de la tierra, que tienen acceso al mar o a las aguas salobres. Las bajas temperaturas invernales, por el contrario hacen más lentos los procesos prolongando la supervivencia de estas bacterias extrañas. Así pues, la influencia de la temperatura sobre la microflora de los lagos, ríos y mares no puede determinarse hasta conocer con exactitud el efecto de los demás factores.

**pH.** El valor de pH influye en gran manera sobre el crecimiento y reproducción de los microorganismos, la mayoría de bacterias se desarrollan únicamente dentro del margen de pH de 4 a 9, solo algunas crecen a un pH de 3 o inferior, el pH óptimo de la mayor parte de las demás bacterias oscila entre 6,5 y 8,5. Las grandes oscilaciones de la concentración óptima de pH provocan alteraciones fisiológicas y morfológicas en las poblaciones bacterianas.

**Salinidad.** El nivel de la concentración salina determina especialmente las comunidades que pueblan las aguas. La proporción relativamente alta de cloruro de sodio en el agua de mar, se ha traducido en la constitución de organismos fisiológicamente distintos para el agua dulce y la salada. La mayoría de microorganismos que viven en los lagos y ríos limpios son más o menos halófilos y no pueden desarrollarse en condiciones

naturales en las aguas que contengan una proporción salina superior al 10‰, únicamente un número limitado de ellos son halotolerantes y por eso pueden soportar también concentraciones salinas altas. En cambio la inmensa mayoría de las bacterias y los hongos que viven en el mar son halófilos, esto es, la necesidad de cierta cantidad de cloruro de sodio y de ahí que normalmente no se desarrollen en los biotipos de agua dulce.

**Sustancias inorgánicas.** Aparte del cloruro de sodio existen otras sustancias inorgánicas que influyen igualmente sobre la vida de los microorganismos de las aguas, dentro de los cuales tenemos los compuestos de nitrógeno y fósforo, los cuales representan el factor mínimo de la vida vegetal como principios nutritivos de importancia vital de la zona productiva de muchas aguas. En los lagos oligotróficos y en las zonas marítimas pobres en sustancias nutritivas, apenas se ve la presencia de amoníaco, nitritos, nitratos y fosfatos porque el fitoplancton los fija inmediatamente después de su liberación. En estas condiciones puede presentarse una competencia en torno a estos cuerpos inorgánicos entre las bacterias y las algas planctónicas, pero la actividad de microorganismos heterótrofos aumenta con frecuencia la riqueza de nitratos y fosfatos, en las profundidades de los grandes lagos y del mar. Por ello las zonas de empuje ascendente en las que las aguas profundas, ricas en principios nutritivos, suben a la superficie, muestran una producción elevada y como resultado un desarrollo más exuberante de bacterias y hongos. Algunos de los metales pesados son tóxicos para muchos microorganismos, aun a concentraciones bajas, al parecer los iones de estos metales o sus compuestos orgánicos parecen desempeñar un papel bactericida junto a la salinidad del agua de mar para las bacterias ajenas a ella.

**Sustancias orgánicas.** Las sustancias orgánicas en suspensión y disueltas en el agua tienen un importante papel como el de la nutrición de microorganismos heterótrofos, De su concentración y composición dependen en gran parte el volumen y la combinación específica de las poblaciones bacterianas y hongos

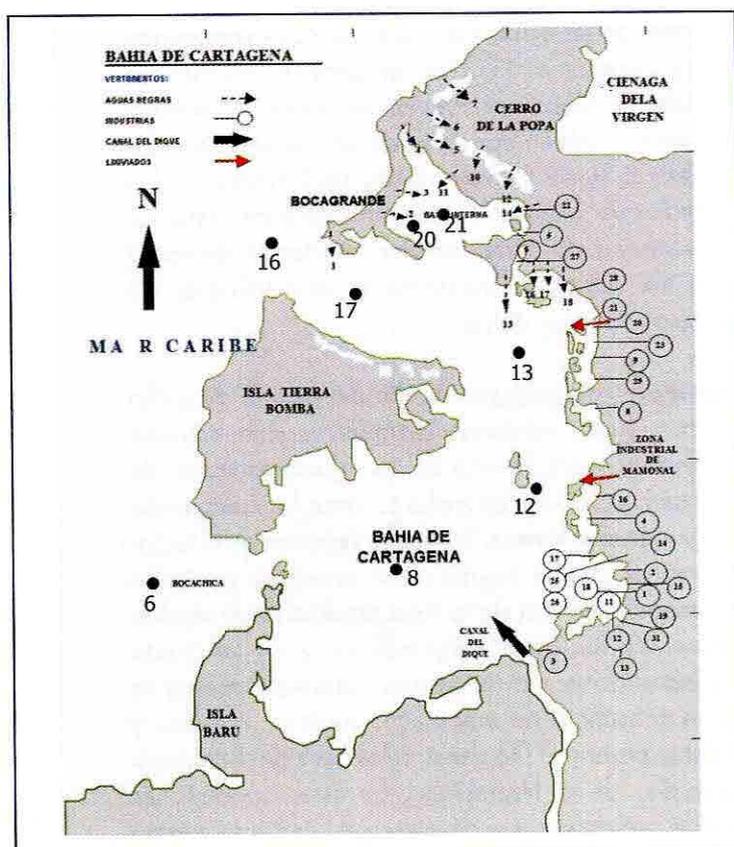


Fig.1 Esquema de distribución de las fuentes domesticovitales que contaminan la bahía de Cartagena y puntos de observaciones del CIOH durante los años 1996-1998.

NÚMERO DE LAS ESTACIONES							
Fecha	8	12	13	17	20	21	16
16.04.96	10800	13500	343000	229000	579000	320000	220000
07.02.97	9500	6200	9200	8400	23600	13600	1200
13.02.97	960	1100	4600	1600	9200	6800	210
24.02.97	6800	13500	45000	29000	189000	168000	220
24.03.98	15	43	3	3	43	1100	3
02.07.98	4800	4400	3	8900	1300	3600	39000
19.08.98	44000	28000	3600	30000	46000	89000	(0)
01.10.96	23	35	39	75	1100	1300	7
08.10.97	370	40	200	129	1100	1400	0
05.11.98	2100	<3	700	1100	9300	<3	(1100)

Tabla 2. Concentración de los Coliformes fecales (NMP/100ml) en la Bahía de Cartagena para siete estaciones medidas a nivel superficial según datos del CIOH, años 1996-98.

de las aguas, los compuestos orgánicos también tienen gran interés como principios activos y sustancias inhibitoras.

La cantidad de sustancia orgánica es factor limitante en muchas aguas para el desarrollo de bacterias y hongos saprófitos, existiendo una correlación positiva entre la cantidad de microorganismos y la concentración de compuestos orgánicos.

**Gases disueltos.** En el agua existen pequeñas cantidades de gases disueltos, que pueden ejercer una influencia muy grande en el desarrollo de los microorganismos, los principales son oxígeno, CO<sub>2</sub> y nitrógeno.

Como se puede observar existen muchos factores que afectan el desarrollo de las bacterias en un ecosistema dado y más aun cuando se trata de flora bacteriana de agua dulce que ingresa en un medio estuarino, como es el caso de la Bahía de Cartagena, donde confluyen varias fuentes de contaminación de aguas residuales de origen antropogénico industrial o doméstico, cuya carga bacteriana se ve enfrentada a cambios drásticos diferentes de su hábitat natural, por ello muy probablemente el comportamiento seguido por las bacterias Coliformes en el monitoreo realizado, el cual será analizado a continuación, se deba a la combinación de la acción de todos los factores antes mencionados e incluyendo también el componente meteorológico en cada época de muestreo.

## RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES

El monitoreo del contenido de Coliformes en las aguas de la Bahía de Cartagena se inició en el año 1996. Hasta el año 1998 la selección de las estaciones de muestreo y el análisis de las muestras se efectuaron por diferentes investigadores en el marco de diferentes proyectos, los resultados de este periodo de investigaciones se representan en la Tabla 2 y el esquema de los puntos en la cuenca de la bahía, en los cuales se tomaron las muestras se presentan en la figura 1.

Con base en el análisis de esta información se pueden hacer dos deducciones principales.

En los periodos secos y transitorios del año el grado de contenido de los Coliformes fecales en las aguas de la Bahía, sobrepasa muchas veces los límites permitidos. En el periodo húmedo del año (septiembre - octubre) la contaminación de las aguas de la Bahía de Cartagena por Coliformes, se reduce considerablemente, aunque en la cuenca de la bahía interna la concentración de los Coliformes fecales como antes supera la norma.

Al final de septiembre del año 1997 la contaminación de las aguas de la bahía por bacterias patógenas se investigaba por la compañía americana de ingenieros HANZEN y SAWYER (1998). Los resultados de estas investigaciones se presentan en la Tabla 3, y la localización de los puntos de observación en la Figura 2. Ellos representan un interés especial, puesto que efectuados por otra metodología que es la filtración por membrana (Standard Methods APHA, 1992), caracterizan la variabilidad diaria del contenido de Coliformes en diferentes puntos de la Bahía.

Los resultados de las investigaciones de HANZEN AND SAWYER concuerdan muy bien con los datos obtenidos por CIOH para la época húmeda del año (ver la Tabla 2).

Mucho más frecuentemente, el exceso del nivel permitido de contaminación se nota en este periodo en la bahía Interna (estaciones N1,2,4,5), y también más al sur de la Isla de Manzanillo (estaciones N10, 12), a donde salen canales de desagüe abiertos. Se destaca también la inestabilidad (incluso en el transcurso de algunos días) de las concentraciones de Coliformes observadas en diferentes puntos de la cuenca.

Las investigaciones, realizadas por el CIOH en el transcurso de los años 1996 - 98 prueban que el contenido de Coliformes fecales en las aguas superficiales de la bahía Interna de Cartagena en el

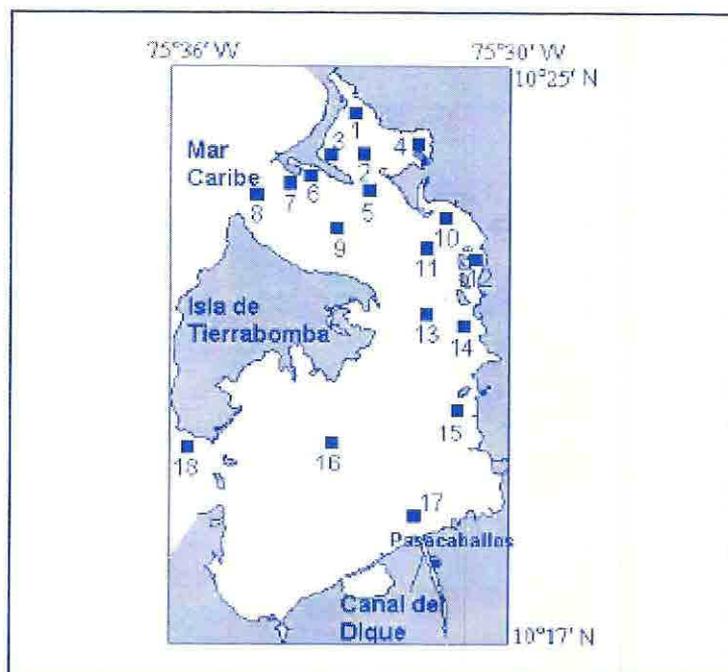


Fig. 2 Esquema de localización de los puntos de observaciones, realizados por HANZEN and SAWYER año 1997.

### NÚMERO DE LAS ESTACIONES

Num. de Estac.	Sep.22	Sep.23	Sep.24	Sep.29	Sep.30	Oct.1	Oct.2	Oct.3
1	10	3000	32	4000	n/o	32	500	2000
2	4	63	10000	76	n/o	26	6000	6000
3	5	1000	118	28	n/o	35	600	900
4	20	28	20000	107	n/o	300	7000	8000
5	11	800	7000	700	n/o	600	3000	1000
6	n/o	98	37	34	n/o	n/o	N/o	N/o
7	n/o	34	1000	600	n/o	n/o	n/o	N/o
8	n/o	10	20	31	n/o	n/o	n/o	N/o
9	n/o	61	20000	400	n/o	n/o	n/o	N/o
10	32	30000	5000	182	92	7000	4000	600
11	2	170	31	83	106	3000	200	4000
12	28	220	4000	3000	600	4000	6000	400
13	4	53	72	23	6	5000	90	800
14	7	35	140	800	2000	900	300	300
15	n/o	2000	3000	3000	n/o	n/o	n/o	N/o
16	n/o	1000	67	7	n/o	n/o	n/o	N/o
17	n/o	2000	800	1000	n/o	n/o	n/o	N/o
18	n/o	0	n/o	21	n/o	n/o	n/o	N/o

n/o - muestra de agua no obtenida

Tabla 3. La concentración de los Coliformes fecales (UFC/100ml) en la capa superficial de la bahía por los datos de HANZEN AND SAWYER (1998), obtenidos en año 1997.

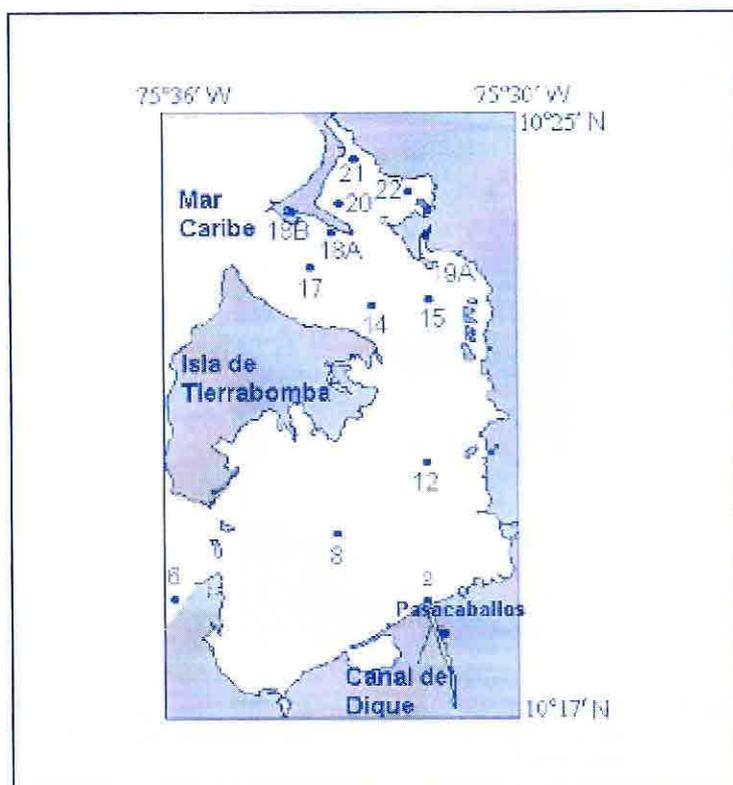


Fig. 3 Esquema de localización de los puntos de observaciones, realizados por CIOH en los años 1999-2000.

Numero de estacion	Fecha				
	09.03.99	04.05.99	07.07.99	05.10.99	09.02.2000
2	93000	1100000	150000	930	900
6	30	3000	-	-	<30
8	300	3000	400	210	<30
12	300	9000	300	300	150
14	300	460000	4000	430	30
15	300	23000	23000	7000	210
17	300	9000	23000	930	40
18 <sup>a</sup>	30	4000	75000	15000	<30
18 <sup>b</sup>	30	3000	240000	230	<30
19 <sup>a</sup>	300	210000	21000	150	90
20	23000	4000	28000	11000	<30
21	30	7000	15000	3000	40
22	30	15000	23000	75000	<30

Tabla 4. La concentración de los Coliformes fecales (NMP/100ml) en la capa superficial de la Bahía por los datos de CIOH, obtenidos en los años 1999-2000.

transcurso de todo el año sobrepasa los límites permitidos. En la cuenca de la Bahía Externa, la cual se puede clasificar como la zona de contacto secundario del hombre con el agua, se exceden los niveles contemplados en las normas de contaminación para las bacterias Coliformes en los periodos seco y transitorio del año. Con base en lo anterior y considerando que la selección de las estaciones de muestreo y el análisis se efectuó por diferentes investigadores se tomó la decisión, por parte del CIOH de realizar un monitoreo secuencial del contenido durante el año 1999 y época seca del año 2000, del contenido de Coliformes en la Bahía de Cartagena, el cual incluyó las playas de Castillogrande. El principal requisito, presentado para estas observaciones, consistió en que ellas se realizaran unitariamente, con la metodología anteriormente descrita y el mismo personal, con el fin de realizar un seguimiento de la información obtenida.

Además, estas observaciones se efectuaron en conjunto con mediciones de otras características hidrológicas y químicas del medio acuoso, con el fin de investigar la influencia de factores naturales en el nivel de contaminación de la bahía por las bacterias Coliformes. Los resultados de estas investigaciones se presentan en la Tabla 4, y la localización de los puntos de observación se presentan en la Figura 3.

El análisis de la información obtenida en la actualidad prueba que, el alto nivel de contaminación de la bahía tiene lugar en el periodo transitorio (mayo - agosto). En el periodo húmedo del año, en general, el nivel de contaminación disminuye, pero en la bahía Interna (estaciones N20, 21, 22) y también en la región de las playas de Castillogrande (estación N18a) el contenido de Coliformes excede sobremanera los límites permitidos. En la época seca del año el contenido de bacterias Coliformes en las aguas superficiales de la bahía es mínimo y a excepción de un caso (estación N20, año 1999) se encuentra en los límites de las normas dictadas por el Decreto N1594. En los periodos seco y transitorio del año 1999, las altas concentraciones de Coliformes fecales se observaron en las aguas del canal del Dique. Sin

embargo en las estaciones N8, 12, próximas al canal (ver Figura 3) las concentraciones de Coliformes fueron considerablemente inferiores a las estaciones ubicadas en la parte norte de la bahía.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES

Los resultados de las investigaciones de la contaminación de las aguas de la Bahía de Cartagena por bacterias Coliformes prueban que su principal fuente son las aguas de desagüe doméstico de la ciudad. Por ello en el transcurso de todo el año, en la cuenca de la bahía Interna se observa un nivel de contaminación que sobrepasa los límites permitidos.

El canal del Dique no juega un rol sustancial en la contaminación de las partes central y norte de la Bahía, aunque las concentraciones de Coliformes en sus aguas pueden ser muy altas ( $10^6$  NMP/100 ml). Esto puede deberse a una alta tasa de mortalidad de los Coliformes en la capa superficial de la bahía en las condiciones hidrometeorológicas e hidroquímicas presentes.

Anteriormente se ha dicho que la tasa de mortalidad de las bacterias Coliformes se incrementa con el aumento de la salinidad y la luminosidad en las aguas; si suponemos que efectivamente son estos factores los que determinan la variabilidad del contenido de Coliformes en la capa superficial de la bahía, entonces en el periodo seco del año, cuando el caudal del canal del Dique es mínimo, y la luminosidad y transparencia de las aguas es máximo, la contaminación de las aguas de la bahía por bacterias coliformes debe ser mínima.

Por el contrario, en el periodo más intenso de precipitaciones de aguas lluvias se disminuyen la salinidad y transparencia en las aguas de la capa superficial de la bahía, bajo la influencia del canal del Dique, lo que debe llevar al aumento de la concentración de Coliformes; esta deducción se avala

con los datos observados durante los años 1999 - 2000 (ver Tabla 4); sin embargo, esta se contradice con los resultados de las observaciones durante los años 1996 - 97 (ver Tabla 2).

Por otro lado, los resultados de los cálculos del modelo de ecosistema (Tuchkovenko y otros, 1999), efectuados para las condiciones hidrometeorológicas de las épocas seca y húmeda del año con características invariables de las fuentes de contaminación, dicen que en el periodo seco la contaminación de la bahía por las bacteria Coliformes tiene un carácter más macro que durante el húmedo.

Esto puede ser debido a que en el periodo seco del año, bajo la influencia de los fuertes vientos norteros - los alisios, la circulación de las aguas superficiales puede favorecer la acumulación de bacterias Coliformes en los límites de la bahía. En el periodo húmedo, al contrario, las aguas contaminadas por Coliformes pueden ser transportadas fuera de los límites de la bahía, esto debe evaluarse a través de estudios que relacionen la contaminación bacteriana y la dinámica acuática.

La temperatura del agua no representa una influencia sustancial en la variabilidad del contenido de Coliformes en las aguas de la Bahía, debido a que en el transcurso del año varía entre 28 - 30 °C.

La oportunidad de enlazar la variabilidad del contenido de organismos Coliformes en las aguas de la bahía con la variabilidad de los factores del medio ambiente (Tabla 5) se efectuó con base en los datos de los años 1999 - 2000. Del análisis de la información presentada en las Tablas 4 y 5 se deduce que el nivel de contenido de Coliformes en las aguas de la Bahía, está estrechamente relacionado con la presencia o ausencia de precipitaciones y su cantidad unos días antes de las observaciones.

Esta relación se explica de una manera suficientemente lógica, debido a que en el periodo de precipitaciones

se incrementa la cantidad de aguas de desagüe que se vierten a la cuenca provenientes de los canales de alcantarillado y también la cantidad de bacterias patógenas en estas aguas; también pueden verse involucradas fuentes potenciales de contaminación las cuales pueden estar incomunicadas con el sistema de alcantarillado, pero se rebosan con las lluvias contribuyendo a incrementar la carga de contaminación por bacterias de las aguas en los canales del alcantarillado.

En ventaja de la última deducción sirven los datos de HANZEN AND SAWYER (Tabla 3), según los cuales las concentraciones de Coliformes en el periodo húmedo del año en el transcurso de algunos días, puede cambiarse en algunos órdenes, lo que se puede explicar por las fluctuaciones de las características de las fuentes de contaminación, provocadas por la presencia o ausencia de precipitaciones. Debido a que el ambiente marino posee inercia en sus propiedades, es improbable que estas oscilaciones intensas de la cantidad de Coliformes puedan ser provocadas por la variabilidad de sus propiedades físico - químicas.

La influencia de los factores físico - químicos restantes del medio ambiente no se observa claramente y se presenta en la Tabla 5. Teniendo en cuenta que los datos sobre el alto contenido de Coliformes en el periodo seco de los años 1996 - 97 no se somete a la explicación, con base en la hipótesis antes deducida, se puede sólo suponer que la influencia de diferentes factores naturales en la tasa de mortalidad

de las bacterias patógenas varía en el transcurso del año. Por ejemplo, en febrero de 1997 y en abril del año 1998 el factor determinante fue el retiro de Coliformes de la bahía Interior a la bahía Exterior, bajo la influencia de fuertes vientos en conjunto con el alto nivel de contaminación de las aguas del canal del Dique.

En el periodo de precipitaciones, las concentraciones de Coliformes en la bahía se determinan completamente por su intensidad y frecuencia.

## CONCLUSIONES

Las investigaciones de la contaminación de las aguas de la Bahía Cartagena por las bacterias patógenas efectuadas por el CIOH a partir del año 1996 prueban que en el transcurso de todo el año, se observa la contaminación crónica de la bahía Interior de Cartagena. Las concentraciones altas de Coliformes se observan en las épocas transitorias y húmedas del año en las zonas de las playas de Bocagrande, las cuales son las zonas de contacto primario (natación y buceo) del hombre con el agua.

Teniendo en cuenta lo expuesto arriba, el problema actual es la limitación de vertimientos a la Bahía de los desagües domésticos o su tratamiento para la eliminación de las bacterias patógenas.

La concentración de Coliformes en las aguas de la Bahía se determina por el complejo de los factores naturales, el papel de los cuales varía en el transcurso del año. Con base al análisis de los datos obtenidos durante los años 1999-2000, se ha definido, que las concentraciones altas de Coliformes se deben esperar en el periodo de precipitaciones intensas, cuando se incrementa el vertimiento de aguas contaminadas por el sistema de aguas lluvias y alcantarillado; y también es posible el incremento del contenido de bacterias patógenas debido al lavado de fuentes potenciales de contaminación, antes incomunicadas.

Parámetros	Fecha				
	09.03.99	04.05.99	07.07.99	05.10.99	09.02.2000
Transp., m.	1.32	1.6	0.9	0.94	n/o
PH	n/o	8.25	8.92	8.11	8.06
S, ‰	32.2	25.9	20.0	17.8	n/o
Precip., mm/día	0	37.5	23.1	1.4	0

Tabla 5. Los valores promedios de diferentes parámetros del medio ambiente, que pueden influir en el grado de contaminación de la Bahía por Coliformes, por datos de CIOH, obtenidos en los años 1999-2000.

## RECOMENDACIONES

La pregunta sobre los roles de diferentes factores naturales y de las propiedades físico - químicas de las aguas de la Bahía en la tasa de mortalidad bacteriana y por consiguiente, en su concentración en la Bahía, en la actualidad no está resuelto completamente requiriéndose de investigaciones posteriores con el fin de reunir información.

Con relación a lo anteriormente expuesto se recomienda:

- 1) Continuar con las investigaciones de la variabilidad del contenido de Coliformes en las aguas de la bahía de Cartagena, en conjunto con el monitoreo de otras características hidrometeorológicas e hidroquímicas del medio ambiente.
- 2) Realizar experimentos especializados en condiciones naturales de la Bahía de Cartagena y de laboratorio con el objetivo de investigar la influencia de diferentes factores físico - químicos del medio marino en la tasa de mortalidad de los Coliformes.
- 3) Investigar las fuentes de contaminación con el objetivo de determinar la variabilidad de sus caudales y contaminación de sus aguas por bacterias patógenas en dependencia del periodo del año.

- Ministerio de Salud Colombia. Decreto N 1594 (del 26 de Junio de 1984) - P. 33-63.
- Hanzen and Sawyer. 1998. El distrito de Cartagena y aguas de Cartagena. Informe final. Sin publicar. Cartagena, Colombia
- Tuchkovenko Y.S., Lonin S.A., Jesus Garay T. Utilización de los métodos de modelacion numérica para determinación del contenido de diferentes tipos de sustancias contaminantes en las aguas de la bahía de Cartagena.- Boletín científico CIOH, Colombia, Cartagena, N 19, 1999.
- Brock y Madigan. Microbiología . Ed: Prentice Hall, 1991.
- Hazen y Sawyer. Southeast Florida Outfall Experiment II , SEFLOE II Final Report, 1994.
- UNOPS-CIOH Proyecto GEF/RLA/93/G41 Proyecto Regional de Planificación y manejo de Bahías y Areas Costeras Fuertemente Contaminadas del Gran Caribe 1997.



## BIBLIOGRAFÍA

- Aguas de Cartagena - ACUACAR. Informe preliminar sobre vertimientos de aguas servidas urbanas de la Ciudad de Cartagena a la Bahía de Cartagena y la Ciénaga de la Virgen. Sin publicar. Cartagena. 1996.
- APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater U.S.A. 1992.
- Mancini J.J. Numerical Estimation of Coliform Mortality Rates under Various Conditions. Journal of Water Pollution Control Federation. Vol.50, p.2477. 1978.