

Contaminación microbiológica en la zona costera de Akumal, Quintana Roo, México

Microbiological contamination in the Akumal coastal zone, Quintana Roo State, Mexico

Guadalupe Barrera-Escorcía
Patricia Esperanza Namihira-Santillán

¹Departamento de Hidrobiología, CBS, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. A.P. 55-535, México, D. F., C. P. 09340.
mail: gube@xanum.uam.mx

Barrera-Escorcía, G. y E.P. Namihira-Santillán. 2004. Contaminación microbiológica en la zona costera de Akumal, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica* 14 (1): 27-35.

RESUMEN

Se llevó a cabo un análisis bimestral de la concentración de bacterias coliformes en agua y sedimentos de la Bahía de Akumal durante el año de 2001. Se utilizaron dos técnicas de análisis, la tradicional de tubos múltiples y el Kit SimPlate. Los resultados indicaron que las concentraciones de bacterias coliformes fueron semejantes con ambas técnicas en agua y sedimentos, pero sólo se detectaron muestras con mala calidad sanitaria a través de la técnica de tubos múltiples. La zona analizada presentó contaminación por coliformes fecales en la Laguna de Yalkú en dos muestreos durante octubre y diciembre, al acercarse la temporada turística. Las mayores concentraciones de bacterias se asociaron a los sitios con menor salinidad y bajos niveles de oxígeno disuelto. Los resultados obtenidos con el Kit SimPlate no mostraron tendencias claras en el año y no presentaron correlación con los parámetros fisicoquímicos. Las concentraciones en sedimentos se incrementaron al final del año con ambas técnicas pero en sitios diferentes. La influencia de estas bacterias, puede ser de trascendencia a largo plazo, ya que la introducción continua de agua residual no tratada en zonas costeras cuyas comunidades son sensibles, como las arrecifales, ha demostrado ser capaz de modificar la biocenosis de las comunidades bentónicas con efectos definitivos. Se recomienda la técnica de tubos múltiples para determinar la calidad sanitaria del agua en la zona costera.

Palabras clave: Calidad sanitaria, bacterias coliformes, Mar Caribe.

ABSTRACT

A bimonthly analysis of coliform bacteria concentration was carried out in 2001, in the water and sediment of Bay of Akumal. Two techniques of analysis were applied, the multiple tubes traditional technique and the Kit SimPlate. The results do not indicate statistical differences between the techniques used in water and sediment; however inadequate sanitary quality was detected only with the multiple tubes technique. The area analyzed presented fecal coliform contamination in the Yalku lagoon in October and December approaching the tourist season at the end of the year. The higher bacteria concentrations were present in locations with low salinity and dissolved oxygen. The Kit SimPlate results did not show tendencies in time and had no correlation with physicochemical parameters in water. Both techniques showed an increase in sediment concentrations at the end of the year but in different sites. The long term influence of these bacteria can be important because the continuous introduction of residual non-treated water in coastal zones and places where the communities are sensitive, as the reefs, has demonstrated to be able to modify the biocenosis of the benthic communities with definitive effects. The multiple tubes technique is recommended to determinate the sanitary water quality analysis in the coastal zone.

Key words: Sanitary quality, coliform bacteria, Caribbean Sea

INTRODUCCIÓN

La zona costera del Caribe Mexicano tiene importancia económica por la infraestructura hotelera que atiende tanto al turismo nacional como al internacional. El acelerado desarrollo de esta zona y de las comunidades asociadas a sus servicios, que se suma a las comunidades rurales anteriormente establecidas, además del manejo de turismo ecológico sin estudios suficientes sobre la zona, así como la tala clandestina y otras actividades humanas, han modificado de alguna manera los sistemas acuáticos al verter en estos sus desechos, poniendo en peligro los principales atractivos de la región.

El resultado de la recepción de agua residual en zonas costeras, origina cambios fisicoquímicos, un incremento en las concentraciones de bacterias coliformes y un enriquecimiento por materia orgánica, lo que a su vez, causa el desarrollo masivo de diferentes bacterias y hongos. Es común que, como consecuencia de este desarrollo, se inhiba la microflora natural e incluso que ésta pueda ser destruida. Dado que este tipo de agua transporta además bacterias y hongos patógenos que pueden originar epidemias (Haas *et al.*, 1999), en ciertas épocas del año el riesgo sanitario puede aumentar, particularmente al inicio de la estación de lluvias, que es un momento determinante, porque pueden encontrarse altas concentraciones de bacterias, incluso mayores que ya entrada la temporada (Barrera-Escorcia *et al.*, 1999), además al final del año se incrementa la actividad turística. Los indicadores microbiológicos de calidad del agua son analizados principalmente en balnearios y albercas. Sin embargo, se ha hecho necesario llevar a cabo este tipo de análisis en regiones de influencia marina.

El análisis de la calidad sanitaria del agua utiliza como indicadores al grupo de bacterias denominado coliforme (Rheinheimer, 1987). Este grupo incluye bacterias saprófitas microaerobias de origen fecal, que pueden asociarse a la presencia de bacterias patógenas (McJunkin, 1988). Ciertas concentraciones de bacterias coliformes en el agua se consideran un riesgo sanitario, sus límites están descritos en la legislación mexicana (CNA, 2003). Tradicionalmente se determinan por la técnica de tubos múltiples, la cual consiste en la inoculación de una muestra de agua y diluciones decimales de la misma, con tres o cinco réplicas en cada ocasión, en medios de enriquecimiento y confirmativos. Esta prueba requiere de 24 a 48 h de incubación en cada medio de cultivo.

Actualmente se han desarrollado técnicas más rápidas como el Kit SimPlate de Biocontrol (Estados Unidos), con el fin de facilitar y hacer más eficiente el análisis en el monitoreo ambiental. Éstas se aplican principalmente en agua dulce, particularmente en el agua potable (Brenner *et al.*, 1996). Sin embargo, en algunos casos han sido utilizadas para muestras ambientales, demostrando que son capaces de permitir un adecuado crecimiento de bacterias que se encuentran en estrés derivado de la cloración del agua (Brenner *et al.*, 1993). Es-

tas pruebas permiten obtener resultados en 24 h con confirmación del grupo, utilizando sustratos para enzimas específicas de bacterias coliformes y *Escherichia coli*, como el 4-metilumbeliferil- β -glucuronido (MUG) y el ortonitrofenol - β -D-galactopiranosido (ONPG), que detectan β -glucuronidasa y β -galactosidasa, respectivamente (Townsend *et al.*, 1998). La legislación mexicana no contempla estas pruebas, pero es conveniente ponderar su utilidad en el análisis ambiental. Por otro lado, tampoco se exige la evaluación de las bacterias coliformes en el sedimento, en el cual pueden sobrevivir ya que se considera un ambiente protector (Davies *et al.*, 1995), que permite a algunas especies, como *Escherichia coli*, adaptarse parcialmente a condiciones salinas (Munro *et al.*, 1987). El sedimento puede actuar como un reservorio, porque provee nutrientes además de protección, permitiéndoles sobrevivir (Mann & Jazier, 1991). Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la calidad sanitaria del agua y el comportamiento de las bacterias coliformes en agua y sedimento, en la región de Akumal utilizando dos técnicas para su análisis.

Área de estudio. La región de Akumal forma parte del corredor turístico Cancún-Tulum. Está ubicada en los 20°24' N y 87°19' W, su clima es cálido subhúmedo (Aw1 y AW2), los vientos dominantes tienen una dirección E-SE y la circulación del agua tiene flujo neto S-N. El sistema arrecifal coralino que se encuentra en sus costas forma parte del cinturón arrecifal del Caribe. Las actividades pesqueras desarrolladas en la zona son moderadas, pero existe un marcado desarrollo urbano. La región analizada tiene una longitud de 10 kilómetros y cuenta con tres cuerpos principales: la Laguna Yalkú, que tiene un aporte de agua dulce cuya influencia se extiende a una longitud aproximada de 800 m desde la costa, tiene sustrato arenoso, presenta áreas rocosas cubiertas de algas y comunidades coralinas; la Bahía de la Media Luna, cuyo sustrato es arenoso-rocoso, presenta también parches de pastos marinos además de zonas de coral; y la Bahía de Akumal, que tiene arena, grandes extensiones de pastos marinos e importantes parches de coral aislados (Díaz-Ruiz, 2002).

En la región de Akumal, se encuentra en la playa una zona turística y casas particulares, al oeste se encuentra el poblado de Akumal. El agua residual que generan estos asentamientos cuenta con sistemas de tratamiento dentro de las instalaciones de algunos hoteles; sin embargo, en lo general se dispone de ella a través de fosas sépticas y de drenaje hacia la costa sin tratamiento previo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las colectas se realizaron bimensualmente en un periodo de un año, en los meses: febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre de 2001. Para ello se establecieron siete

localidades de muestreo: dos ubicadas en la Laguna Yalkú, dos en la Bahía de la Media Luna y tres en la Bahía de Akumal (Figura 1).

La toma de muestras de agua se realizó a 10 cm de la superficie, se obtuvieron manualmente en recipientes estériles de 100 ml de capacidad, inmediatamente fueron colocadas en hielo para su transporte en recipientes térmicos. Las muestras de sedimento se tomaron *in situ* en sitios donde la profundidad del agua era aproximadamente de 3 m, con jeringas despuntadas estériles de 20 ml siguiendo el método indicado por Wright *et al.* (1996), tapadas inmediatamente y llevadas a la superficie para su colocación en hielo junto con las muestras de agua. Las muestras se transportaron por avión a la ciudad de México, donde fueron procesadas en menos de diez horas.

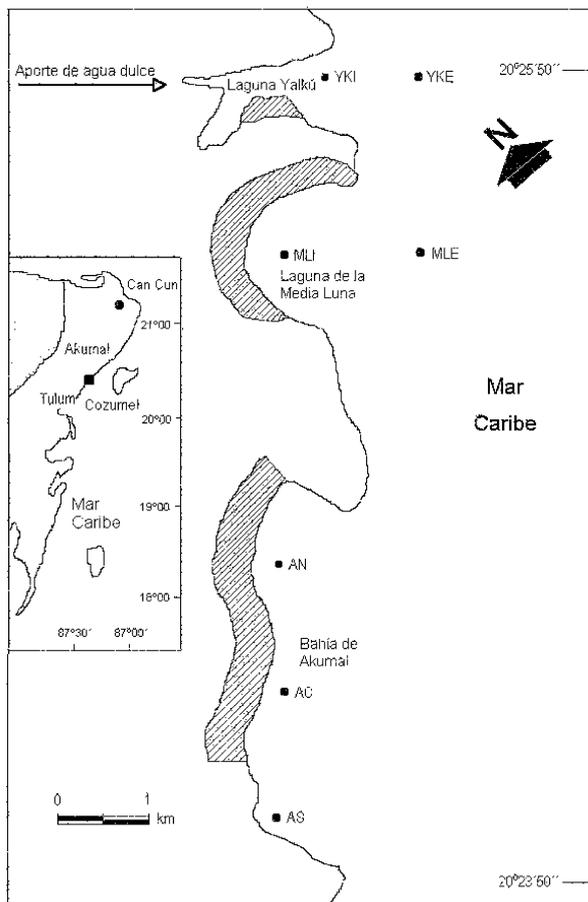


Figura.1. Región de Akumal. La zona turística urbanizada se indica en franjas; los puntos de colecta se ubicaron en la Laguna Yalkú, parte interna (YKI) y externa (YKE); en la Laguna de la Media Luna, parte interna (MLI) y externa (MLE); y en la Bahía de Akumal, norte (AN), centro (AC) y sur (AS).

Simultáneamente a la extracción de las muestras se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH con un potenciómetro de campo (Conductronic); salinidad, temperatura y oxígeno disuelto con un analizador YSI modelo 85.

Se determinó el número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales y fecales utilizando dos técnicas: la técnica de tubos múltiples (Eaton *et al.*, 1995) y la enumeración a través del Kit SimPlate de Biocontrol (Beuchat *et al.*, 1998; Smith & Townsend, 1999). En ambas se hicieron cinco diluciones decimales de las muestras (de 10^0 a 10^{-4} en agua y 10^{-1} a 10^{-5} en sedimento). En el caso de tubos múltiples, estas fueron colocadas en tubos de ensayo con campana Durham invertida que contenían caldo lactosado, las diluciones se inocularon por triplicado y se incubaron a 35°C . Los tubos que presentaron turbiedad y producción de gas, fueron inoculados en Caldo Bilis Verde Brillante 2% incubado también a 35°C como prueba confirmativa para coliformes totales, en el caso de coliformes fecales la prueba confirmativa fue caldo EC incubado a 44.5°C . Los conteos se llevaron a cabo a las 24 y 48 h. Simultáneamente las muestras se procesaron con el Kit de SimPlate, en placas de pozos. El medio utilizado fue lauril trip-tosa con MUG, estas placas fueron incubadas 35°C por 24 h. Posteriormente se realizaron conteos de los pozos con viraje de color del amarillo al morado, obteniéndose el NMP de bacterias coliformes totales desde tablas y el NMP de bacterias coliformes fecales a través de los pozos con respuesta fluorescente al MUG con luz ultravioleta en 366 nm (Beuchat *et al.*, 1998).

En los datos obtenidos se aplicó primero un análisis exploratorio (Salgado, 1992) que permitiera establecer si las poblaciones eran normales y presentaban homogeneidad de varianzas, en cuyo caso se procedió a utilizar métodos paramétricos para su comparación (ANOVA y coeficiente de correlación). En caso de no tener estas características se utilizaron métodos no paramétricos (Kruskal-Wallis). El análisis se realizó con el paquete de cómputo Statistica versión 5 de Statsoft, 1997.

La calidad sanitaria del agua para uso recreativo con contacto primario, basada en las coliformes fecales (240 bacterias /100ml), se comparó con las normas mexicanas vigentes (CNA, 2003) y para la interpretación de coliformes totales, se utilizó el criterio de Rheinheimer (1987), considerando 500 bacterias/100ml como límite para actividades recreativas.

RESULTADOS

En el agua, los números más probables (NMP) de bacterias coliformes totales (CT) determinados por la técnica de tubos múltiples no rebasaron el límite de acuerdo con el criterio

Tabla 1. Concentraciones de bacterias coliformes en la Bahía de Akumal determinadas por la técnica de tubos múltiples.

Agua (NMP/100 L)												
	Coliformes totales						Coliformes fecales					
	Feb	Abr	Jun	Ags	Oct	Dic	Feb	Abr	Jun	Ags	Oct	Dic
YKE	0	4	-	9	460	240	0	4	-	4	240*	240*
YKI	0	43	240	43	23	460	0	43	43	43	23	43
MLI	4	9	4	0	9	15	4	0	4	0	0	7
MLE	0	0	-	0	240	240	0	0	-	0	15	21
AN	4	9	23	9	9	460	0	0	11	4	4	9
AC	0	0	43	23	0	240	0	0	43	4	0	0
AS	4	9	3	4	0	240	4	0	7	4	0	0

Sedimento (NMP/100g)												
	Coliformes totales						Coliformes fecales					
	Feb	Abr	Jun	Ags	Oct	Dic	Feb	Abr	Jun	Ags	Oct	Dic
YKE	0	0	-	430	150	430	0	0	-	0	150	230
YKI	0	312	90	200	210	750	0	0	90	0	0	0
MLI	0	40	90	110	125	4600	0	0	90	90	90	140\
MLE	0	0	-	67	40	0	0	0	-	0	0	0
AN	0	0	40	24000	230	90	0	0	40	0	40	0
AC	0	0	30	280	0	0	0	0	30	40	0	0
AS	0	0	30	0	0	150	0	0	30	0	0	90

Localidades: YKE, Yalkú externa; YKI, Yalkú interna; MLE, Media Luna externa; MLI, Media Luna interna; AN, Akumal norte; AC, Akumal centro; AS, Akumal sur.

* Muestras que rebasaron los límites recomendados para recreación con contacto primario

de Rheinheimer (1987). Los valores más elevados, fueron 460/100ml en la Laguna Yalkú y la Bahía Akumal Norte, durante los meses de octubre y diciembre. En los meses restantes, los NMP de bacterias CT en agua fueron bajos o no se detectaron (tabla 1). En el caso de las bacterias coliformes fecales (CF), se rebasaron los límites recomendados en dos ocasiones, ambas en la Laguna Yalkú parte externa, en los meses de octubre y diciembre (tabla 1).

Las poblaciones de bacterias no presentaron un comportamiento que pudiera considerarse estacional. Los valores elevados registrados en agua, se asociaron a la época en que se incrementan las actividades turísticas en verano y en mayor proporción en el mes de diciembre (Figura 2).

En el sedimento las concentraciones más elevadas de CT obtenidas con la técnica de tubos múltiples, se asociaron a la Laguna Yalkú y en menor proporción a la Bahía de Akumal. Las

Tabla 2. Bacterias coliformes en la Bahía de Akumal determinadas con la técnica de SimPlate.

Agua (NMP/100 ml)													
	Coliformes totales						Coliformes fecales						
	Feb	Abr	Jun	Ags	Oct	Dic	Feb	Abr	Jun	Ags	Oct	Dic	
YKE	0	0	-	4	12	10	0	2	-	4	0	10	
YKI	0	76	50	64	16	18	0	26	32	58	12	6	
MLI	0	47	18	2	36	10	0	47	18	0	36	6	
MLE	0	6	-	0	0	0	0	2	-	0	0	0	
AN	0	4	18	2	4	24	0	2	18	0	36	6	
AC	0	6	18	6	0	16	0	4	18	4	0	10	
AS	0	0	10	26	0	10	0	0	4	26	0	10	
Sedimento (NMP/100g)													
	Coliformes totales						Coliformes fecales						
	Feb	Abr	Jun	Ags	Oct	Dic	Feb	Abr	Jun	Ags	Oct	Dic	
YKE	0	40	-	0	0	-	0	40	-	0	0	-	
YKI	0	0	40	1280	0	20	0	0	40	1280	0	2050	
MLI	0	0	240	0	140	-	0	0	240	0	20	-	
MLE	0	1200	-	168	80	2240	0	1200	-	20	80	2240	
AN	0	0	620	0	160	3540	0	40	620	0	0	3540	
AC	0	0	100	0	0	-	0	0	100	0	0	-	
AS	0	100	22	40	0	1080	0	100	22	20	0	1080	

Localidades: YKE, Yalkú externa; YKI, Yalkú interna; MLE, Media Luna externa; MLI, Media Luna interna; AN, Akumal norte; AC, Akumal centro; AS, Akumal sur.

bacterias CF presentaron sus concentraciones más altas en el mismo sitio, encontrándose prácticamente ausentes en la Bahía de la Media Luna. En todas las localidades de colecta hubo un incremento de las concentraciones hacia diciembre.

Los NMP obtenidos en agua con la técnica del Kit SimPlate, fueron semejantes a los de tubos múltiples espacial y temporalmente, según la prueba de Kruskal-Wallis ($p > 0.05$). Sin embargo, los valores más altos obtenidos por esta técnica fueron de 76 CT/100ml y 58 CF/100ml, ambos registrados en la La-

guna Yalkú en abril y agosto, respectivamente. Mientras que, como anteriormente se mencionó, con la técnica de tubos múltiples las concentraciones fueron más altas. Así, con la técnica del Kit SimPlate no se detectaron muestras que rebasaran los límites permitidos, a pesar de que las muestras se inocularon con las mismas diluciones decimales para el cultivo (Figura 3). En el caso del sedimento los NMP obtenidos con el Kit SimPlate se consideraron semejantes a los de tubos múltiples ya que los valores llegaron a miles de bacterias/100g de sedimento y también se obtuvieron altas concentraciones al final del

año, pero la distribución espacial fue diferente, obteniéndose elevadas concentraciones en la Bahía de la Media Luna.

Los parámetros fisicoquímicos registrados simultáneamente a la toma de muestras, indicaron que los registros de salinidad, se encontraron entre 30.8 ups y 37.5 ups, con excepción de la Laguna Yalkú que presentó en promedio 24.3 ups. Los niveles de oxígeno disuelto tuvieron variaciones significativas entre los meses ($p < 0.05$ por ANOVA), registrándose los más bajos en los meses de octubre (3.07 mg/L) y diciembre (2.34 mg/L) con un intervalo de 2.26 a 7.12 mg/L. Los meses restantes tuvieron en promedio 5.55 mg/L, con un mínimo de 2.85 mg/L y un máximo de 7.12 mg/L, hubo poca diferencia entre las localidades en cada colecta. El pH tuvo pocas variaciones entre las localidades y los meses de colecta, encontrándose en promedio de 7.43, con un mínimo de 4.8 en una ocasión y un

máximo de 8. La temperatura también tuvo un comportamiento uniforme entre las localidades, fluctuando entre 26°C y 28.5°C, excepto en octubre en que se registró 29.5°C promedio. (fig. 4)

Se determinó una correlación inversa entre la salinidad y las concentraciones de CF obtenidas con la técnica de tubos múltiples en agua ($r = -0.65$, $p < 0.05$), ya que los valores más altos se encontraron en las localidades con influencia de agua dulce. Los bajos niveles de oxígeno también se asociaron a NMP altos de CT en agua ($r = -0.51$, $p < 0.05$), encontrándose las mayores concentraciones de bacterias en los meses de octubre y diciembre, que presentaron las menores concentraciones de oxígeno. La temperatura y el pH no mostraron relación alguna con las bacterias. Los NMP obtenidos con el Kit SimPlate no mostraron relación alguna con los parámetros fisicoquímicos.

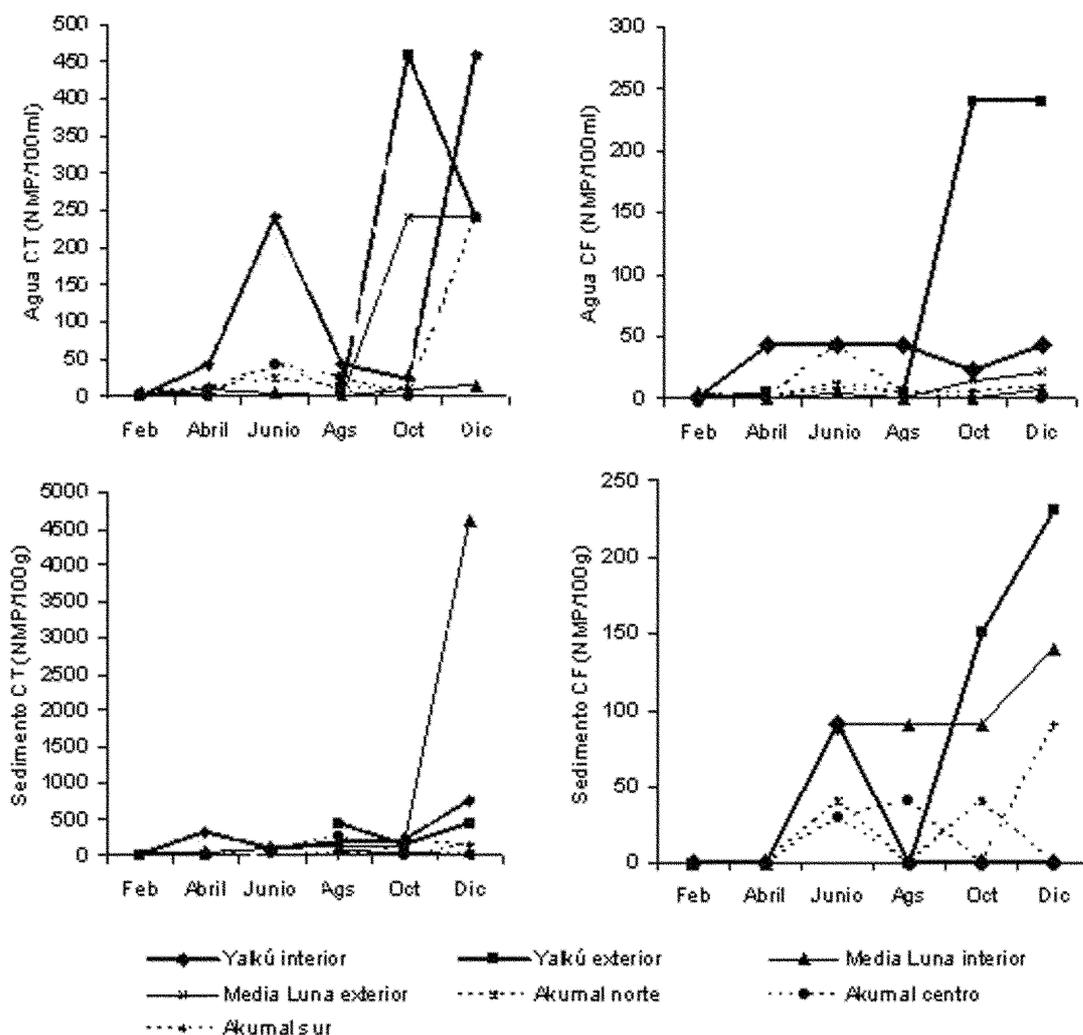


Figura. 2. Concentraciones de bacterias coliformes en agua y sedimento obtenidas con la técnica de tubos múltiples en las lagunas Yalkú y de la Media Luna, y en la Bahía de Akumal.

DISCUSION

Con base en los resultados de tubos múltiples, la calidad sanitaria de la región de Akumal fue aceptable para las actividades recreativas, la mayor parte del año; sin embargo, al acercarse la temporada turística al final del año las condiciones sanitarias se deterioraron en la Laguna Yalkú.

La relación inversa entre la salinidad y las bacterias coliformes fecales ha sido demostrada en el agua de mar (Solic & Krstulovic, 1992). Las condiciones de salinidad del agua en la Laguna Yalkú, son menos rigurosas para la sobrevivencia de este tipo de bacterias. Las bajas concentraciones de bacterias coliformes en agua de salinidad marina se han atribuido a la dilución en el mar, al choque osmótico y al efecto antibacteriano de diversos factores que actúan simultáneamente e incluyen,

desde cambios de temperatura y depositación, hasta depredación y la presencia de antibióticos específicos producidos por las algas (Gauthier, 1980; Rheinheimer, 1987). Sin embargo existen algunas condiciones que pueden permitir su permanencia. Las bacterias coliformes se definen como saprófitas y microaerobias, si bien, la correlación inversa entre el oxígeno disuelto y las concentraciones de bacterias fue menor a la obtenida con la salinidad, la presencia de bacterias en agua con bajos niveles de oxígeno podría indicar la incorporación de materia orgánica en el sistema. El agua residual tiene niveles bajos de oxígeno disuelto, como consecuencia de la actividad de degradación de diferentes tipos de bacterias (Campbell, 1987). El oxígeno disuelto es un parámetro primordial las zonas costeras arrecifales (Badran & Foster, 1998), por lo que la dis-

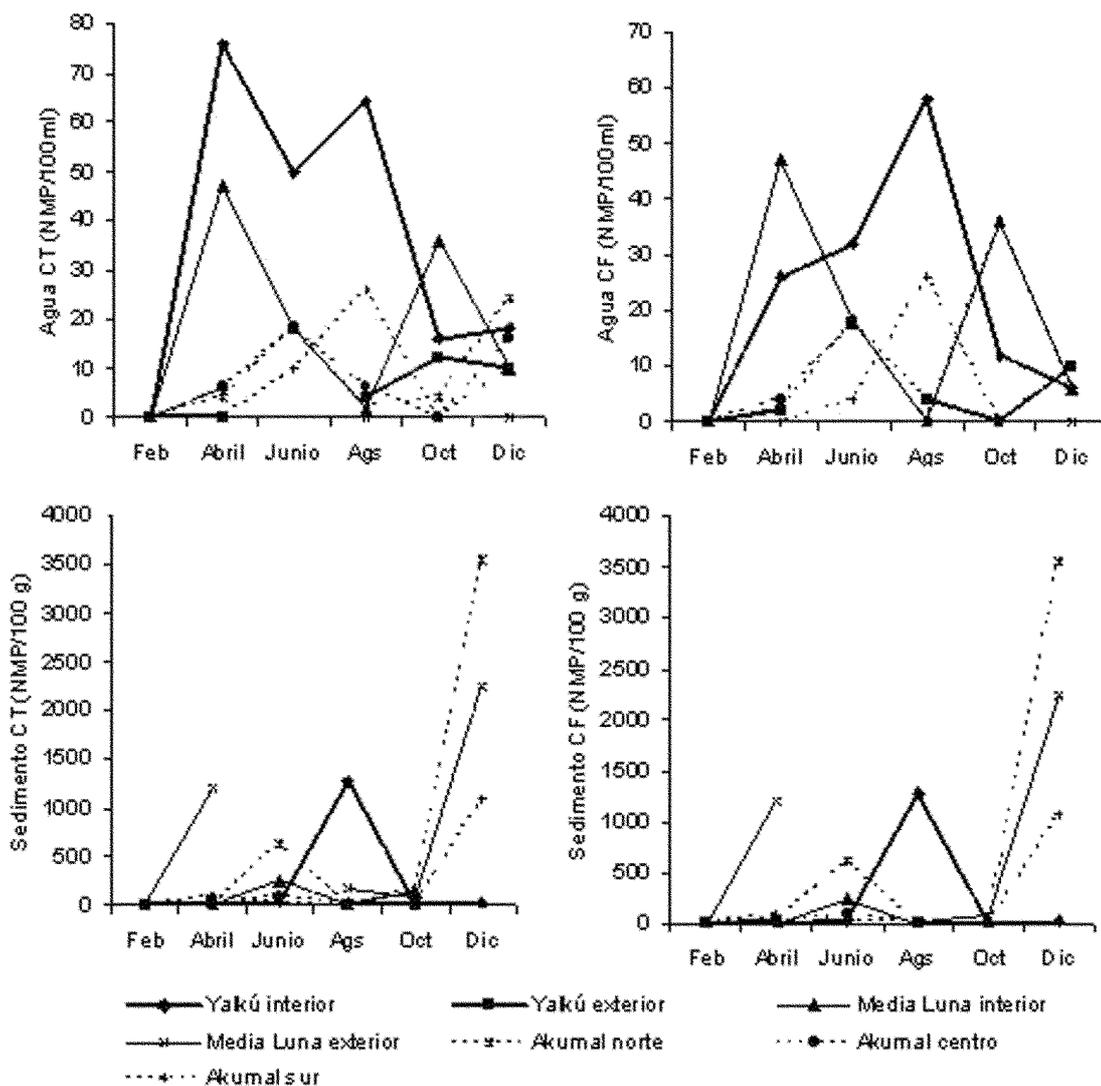


Figura. 3. Concentraciones de bacterias coliformes en agua y sedimento obtenidas con el Kit SimPlate en las lagunas Yalkú y de la Media Luna, y en la Bahía de Akumal.

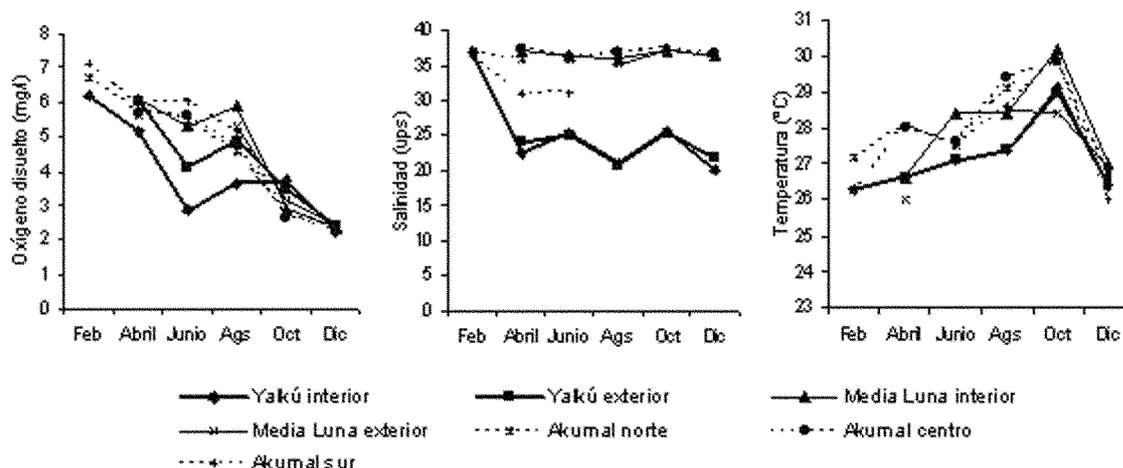


Figura 4. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos: oxígeno disuelto, salinidad y temperatura en las lagunas Yalkú y de la Media Luna, y en la Bahía de Akumal.

minución en los niveles de oxígeno asociado al incremento de concentraciones de bacterias podría considerarse importante.

Otros parámetros influyen en la disminución de las concentraciones bacterianas como la existencia de un pH por afuera del intervalo considerado óptimo, entre 6 y 7 (Solic & Krstulovic, 1992); el pH en el área de estudio llegó a presentar valores ligeramente alcalinos respecto a los valores óptimos de cultivo.

Si bien no hubo diferencias significativas entre los NMP obtenidos con ambas técnicas, las muestras con mala calidad sanitaria solo se detectaron con la técnica de tubos múltiples. Algunas técnicas de cultivo responden de manera deficiente en presencia de agua marina, el Kit SimPlate se ha utilizado ampliamente en alimentos y agua potable, pero su utilidad en el análisis sanitario del agua marina fue inferior a la de tubos múltiples. Bitton *et al.* (1995), indicaron que a pesar de que las diferencias entre las concentraciones determinadas por las técnicas de tubos múltiples y el Kit SimPlate, no sean estadísticamente significativas, desde un punto de vista sanitario, estas diferencias pueden ser relevantes. El presente análisis corrobora esta opinión.

El sedimento constituye un microambiente protector para las bacterias (Mann & Jazier, 1991), lo que podría explicar los valores obtenidos en éste. La experiencia en otras zonas turísticas indica que el deterioro ambiental en la costa se debe en gran medida a los aportes domésticos, aparentemente menos peligrosos que la incorporación de tóxicos en zonas industrializadas, pero que actúan de manera insidiosa en los ecosistemas generando eutroficación y una degradación paulatina de las comunidades macro y microbentónicas, modificando la biocenosis de manera definitiva (Bellan, 1980), por lo que no debe

restarse importancia a la influencia de este tipo de aportes en zonas arrecifales.

CONCLUSION

La técnica del Kit SimPlate no permitió detectar el riesgo sanitario, a pesar de que estadísticamente no se demostraron diferencias en los NMP obtenidos con ambas técnicas, por lo que para el estudio de la calidad sanitaria del agua costera de la región se recomienda utilizar la técnica de tubos múltiples. Se requiere de mayor investigación para asegurar que los métodos de cultivo rápido, como el Kit SimPlate, sean recomendables en substitución de las técnicas tradicionales.

Los niveles de bacterias coliformes detectados en el agua de las bahías de Akumal, Media Luna y la Laguna Yalkú no representaron un riesgo sanitario relevante para las actividades de recreación la mayor parte del año, pero esta última presentó mala calidad sanitaria hacia diciembre, en temporada vacacional alta. La zona tiene posibilidades de recambio de agua y la salinidad marina podría disminuir las concentraciones de bacterias coliformes en agua, así como obstaculizar una acumulación de las mismas en el sedimento. Sin embargo, la influencia de los aportes de agua residual sin tratamiento relacionada con los asentamientos humanos en la región, podría afectar a los arrecifes en el futuro, ya que estas comunidades requieren de un ambiente limpio y oxigenado para conservarse en buenas condiciones. La zona depende de la integridad de su comunidad arrecifal, ya que el atractivo turístico se debe a la belleza natural del sitio, recurso que debe ser conservado. Es necesario el monitoreo continuo de la calidad del agua en este tipo de zonas sensi-

bles y el control de los aportes de agua tratados y no tratados.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se llevó a cabo con el apoyo del proyecto: "Caracterización ecológica del sistema arrecifal coralino de Akumal, Caribe Mexicano. Segunda Etapa (bienio 2001-2002)". Los datos de parámetros fisicoquímicos fueron proporcionados por la M. en C. Silvia Díaz responsable del proyecto

REFERENCIAS

- BADRAN, M.I. & P. FOSTER. 1998. Environmental quality of the Jordanian coastal waters of the Gulf of Aqaba Red Sea. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1: 75-89
- BARRERA-ESCORTIA, G., I. WONG-CHANG, A.S. SOBRINO-FIGUEROA, X. GUZMÁN-GARCÍA, F. HERNÁNDEZ-GALINDO & F. SAAVEDRA-VILLEDA. 1999. Evaluación microbiológica de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, en el ciclo 1994-1995. *Hidrobiologica* 9(2): 125-134
- BELLAN, G. 1980. Acción de los factores de polución sobre las comunidades bentónicas. In: Pérès, J.M. (Ed.). *La polución de las aguas marinas*. Ed. Omega, S.A., España, pp. 148-153.
- BEUCHAT, L.R., F. COPELAND, M.S. CURIALE, T. DANISAVICH, V. GANGAR, B.W. KING, T.L. LAWLIS, R.O. LIKIN, J. OKWUSOA, C.F. SMITH & D.E. TOWNSEND. 1998. Comparison of the SimPlate count method with Petrifilm, Redigel, and Convencional Pour-Plate methods for enumerating aerobic microorganisms in Foods. *Journal of Food Protection* 61 (1): 14-18
- BITTON, G., B. KOOPMAN & K. JUNG. 1995. An assay for the enumeration of total coliforms and *Escherichia coli* in water and wastewater. *Water Environmental Research* 67(6): 906-909
- BRENNER, K.P., C.C. RANKIN, Y.R. ROYBAL, G.N. STELMA JR., P.V. SCARPINO & A.P. DUFOUR. 1993. New medium for the simultaneous detection of total coliforms and *Escherichia coli* in water. *Applied Environmental Microbiology* 59(11): 3534-3544.
- BRENNER, K.P., C.C. RANKIN, M. SIVAGANESAN & P.V. SCARPINO. 1996. Comparison of the recoveries of *Escherichia coli* and total coliforms from drinking water by the MI agar method and the U.S. Environmental Protection Agency-Approved membrane filter method. *Applied Environmental Microbiology* 62 (1): 203-208.
- CAMPBELL, R. 1987. *Ecología Microbiana*. Limusa, México. 268 p.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA). 2003. *Ley Federal de Derechos Normas Aplicables en materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes 2003*. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. enero 2: 173-191.
- DAVIES, CH. M., J.A.H. LONG, M. DONALD, & N.J.A. ASHBOLT. 1995. Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. *Applied Environmental Microbiology* 61 (5): 1888-1896.
- DIAZ-RUIZ, S. 2002. *Informe final del sistema arrecifal coralino de Akumal, Caribe Mexicano. Segunda etapa (LIEC/CBS/UAM-I, 2001, 2002)*. Reporte Técnico. Universidad Autónoma Metropolitana, México. 178 p.
- EATON, A.D., L.S. CLESCERI & A.E. GREENBERG (EDS.). 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th Ed. American Public Health Association (APHA). Maryland. Folio variable.
- GAUTHIER, J.M. 1980. Poluciones bacterianas en el medio marino In: Pérès, J.M. (Ed.). *La polución de las aguas marinas*. Ed. Omega, S.A., España, pp. 127-141.
- HAAS, CH.N., J.B. ROSE. & CH. P. GERBA. 1999. *Quantitative Microbial Risk Assessment*. J. Willey & Sons Inc., New York, 449 p.
- MANN, K.H. & J.R.N. JAZIER. 1991. *Dinamics of Marine Ecosystems*. Backwell Scientific Pub., Boston. 465 p.
- MCJUNKIN, F.E., 1988. *Agua y Salud Humana*. Limusa, México. 231 pp.
- MUNRO, P.M., M.J. GAUTHIER & F.M. LAUMOND, 1987. Changes in *Escherichia coli* cells starved in seawater or grown in seawater-tewater mixtures. *Applied Environmental Microbiology* 53:1476-1481.
- RHEINHEIMER, G. 1987. *Microbiología de las Aguas*. Ed. Acribia, México. 299 p.
- SALGADO, U.I.H. 1992. *El Análisis Exploratorio de Datos Biológicos*. Marc Ediciones, México. 243 p.
- SMITH, C.F. & D.W.E. TOWNSEND. 1999. A new medium for determining the total plate count in food. *Journal of Food Protection* 62(2): 1404-1410.
- SOLIC, M. & N. KRSTULOVIC. 1992. Separate and combined effects of solar radiation, temperature, salinity, and pH on the survival of faecal coliforms in sea water. *Marine Pollution Bulletin* 24 (8): 411-416.
- TOWNSEND, D.E., R.L. IRVING & A. NAQUI. 1998. Comparison of the Sim Plate coliform and *Escherichia coli* test with Petrifilm, three-tube MPN and VRBA + MUG methods for enumerating coliforms and *E. coli* in food. *Journal of Food Protection* 61 (4): 444-449.
- WRIGHT, A., R.T. HILL, J.A. JOHNSON, M.C. ROGHMAN, R.R. COLWELL & J.G. MORRIS JR. 1996. *Distribution of Vibrio vulnificus in the Chesapeake Bay*. *Applied Environmental Microbiology* 62: 717-724.

Recibida: 7 de junio de 2003.

Aceptada: 23 de febrero de 2004.