

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**EVALUACIÓN DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA Y SU EFECTO EN LA
PRESENCIA DE BACTERIAS FECALES EN LAS PLAYAS DEL NORTE DE
PUERTO RICO**

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental
en Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental

Por
Mayrelis Narváez Díaz

20 de diciembre de 2007

DEDICATORIA

*¡A todas las personas que aman y defienden
con tesón los recursos naturales de su terruño
llamado el Planeta Tierra!*

*Muy especialmente a mi hijo Ian Javier
por donar de su tiempo para finalizar esta tarea
y porque eres la razón de mi lucha.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco al Ser divino que me ha dado tantas buenas oportunidades en la vida.

Les agradezco a los miembros del comité; al Sr. Sigfredo Torres por dedicarme mucho de su valioso tiempo y siempre animarme a continuar y a no rendirme, a la Dra. Beatriz Zayas por su apoyo incondicional y todos sus buenos consejos, a la Sra. Sonimar por su disponibilidad y accesibilidad ante cualquier situación.

Agradezco a la facultad de la Escuela de Asuntos Ambientales, muy especialmente a la Prof. María Ortíz y al Dr. Carlos Padín por darme la oportunidad de participar en tantos proyectos de crecimiento profesional. A la Dra. Ivette Torres por encaminarme en el principio de esta aventura.

Aprovecho también para agradecer a Dra. Álida Ortíz por su tiempo, por compartir su conocimiento y por darme la oportunidad de aprender tanto a su lado. Agradezco a Maylene Pérez por darme luz y esperanza en momentos de tensión. Gracias amiga.

Quiero agradecerle a mi familia; a mi esposo, a mis padres y muy especialmente a mi hijo Ian Javier, por su apoyo y su comprensión en este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE APÉNDICES.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del problema de estudio.....	1
Problema de estudio.....	8
Justificación del estudio.....	10
Preguntas de investigación.....	12
Meta y objetivos.....	12
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
Trasfondo histórico.....	13
Marco Teórico.....	15
Estudio de casos.....	16
Marco legal.....	19
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	25
Áreas de estudio.....	25
Periodo de estudio.....	27
Análisis de datos.....	29
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Balneario de Escambrón.....	30
Balneario de Punta Salinas.....	34
Balneario de La Monserrate.....	36
Comparación con otros estudios.....	40
Resumen de resultados.....	40
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
LITERATURA CITADA.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa Balneario Punta Salinas.....	57
Figura 2. Foto Balneario Punta Salinas y los puntos de muestreo.....	58
Figura 3. Mapa del área de Escambrón.....	59
Figura 4. Foto de la Playa de Escambrón	60
Figura 5. Mapa de la playa La Monserrate en Luquillo.....	61
Figura 6. Foto aérea de la playa de Luquillo	62
Figura 7. Foto del caño en el área oeste de la playa de Luquillo	63
Figura 8. Promedios de lluvias vs. por ciento de incumplimientos de estándares bacteriológicos de calidad de agua para los años 2003-2006 en la playa de Escambrón.....	64
Figura 9. Promedios de lluvias mensuales por año para la playa de Escambrón...65	
Figura 10. Promedio Geométrico de concentración de coniformes fecales A en la playa de Escambrón, meses de enero a diciembre del 2003.	66
Figuras 11. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2004.....	67
Figura 12. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2005.....	68
Figura 13. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2006.....	69
Figura 14. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2003.....	70
Figura 15. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2004.....	71
Figura 16. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2005.....	72
Figura 17. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2006.....	73

Figuras 18. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2003.	74
Figura 19. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2004.	75
Figura 20. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2005.	76
Figura 21. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2006.	77
Figura 22. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2003.	78
Figura 23. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2004.	79
Figura 24. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2005.	80
Figura 25. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2006.	81
Figura 26. Promedio de concentraciones de bacterias por mes en la playa de Escambrón para los años 2003 al 2006.	82
Figura 27. Promedios de lluvias vs. por ciento de incumplimientos de estándares bacteriológicos de calidad de agua para los años 2003-2006 en la playa de Punta Salinas	83
Figura 28. Promedios de lluvias mensuales por año para la playa de Punta Salinas.	84
Figura 29. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2003.	85
Figura 30. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2004.	86
Figura 31. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2005.	87
Figura 32. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2006.	88

Figura 33. Promedio geométrico de concentración de enterococos en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2003	89
Figura 34. Promedio geométrico de concentración de enterococos en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2004	90
Figura 35. Promedio geométrico de concentración de enterococos en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2005	91
Figura 36. Promedio geométrico de concentración de enterococos en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2006	92
Figura 37. Promedio de concentraciones de bacterias por mes en la playa de Punta Salinas para los años 2003 al 2006	93
Figura 38. Promedios de lluvias vs. por ciento de incumplimientos de estándares bacteriológicos de calidad de agua para los años 2003-2006 en la playa de La Monserrate.....	94
Figura 39. Promedios de lluvias mensuales por año para la playa La Monserrate	95
Figura 40. Promedio Geométrico de concentración de coliformes A en la playa de La Monserrate, meses de enero a diciembre del 2003.....	96
Figuras 41. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2004.	97
Figura 42. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2005.	98
Figura 43. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2006.	99
Figura 44. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2003	100
Figura 45. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2004	101
Figura 46. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2005.	102
Figura 47. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2006.	103

Figuras 48. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2003.....	104
Figura 49. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2004.....	105
Figura 50. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2005.....	106
Figura 51. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2006.....	107
Figura 52. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2003.....	108
Figura 53. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2004.....	109
Figura 54. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2005.....	110
Figura 55. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2006.....	111
Figura 56. Promedio de concentraciones de bacterias por mes en la playa de La Monserrate para los años 2003 al 2006.....	112

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1.	Desagüe del alcantarillado pluvial en la playa de Escambrón.....	113
Apéndice 2.	Ubicación de los servicios sanitarios en la playa de Escambrón.	114
Apéndice 3.	Foto aérea del Río Cocal en la playa de Punta Salinas	115
Apéndice 4.	Conexión subterránea del humedal en la playa de la Monserrate en Luquillo.....	116
Apéndice 5.	Estación de Bombas Solimar.	117
Apéndice 6.	Estación de Bombas Fortuna	118
Apéndice 7.	Estación de Bombas Balneario La Monserrate.....	119
Apéndice 8.	Desembocadura del caño en el área oeste del Balneario La Monserrate	120

LISTA DE ABREVIATURAS

BEACH.....	Beaches Environmental Assesment And Coastal Health
CFR.....	Code Federal Regulation
CWA	Clean Water Act
DRNA	Departamento de Recursos Naturales y Ambientales
DS	Departamento de Salud
EPA.....	Environmental Protection Agency
JCA	Junta de Calidad Ambiental
PBA.....	Programa de Bandera Azul
PMNP.....	Programa de Monitoría y Notificación Pública
TMDL.....	Total Maximun Daily Load
USGS	United State Geological Services

RESUMEN

La siguiente investigación surge ante la constante presencia de indicadores fecales en las aguas de las playas de Puerto Rico, las cuales representan el recurso al aire libre más utilizado por los puertorriqueños y el cual es de gran importancia para la atracción del turismo. Los objetivos de esta investigación fueron los siguientes: (1) analizar los niveles de coliformes fecales y enterococos obtenidos por la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico para determinar si cumple con los estándares establecidos por la Agencia de Protección Ambiental y la Junta de Calidad Ambiental y (2) evaluar los datos de lluvia y los datos de calidad microbiológica de agua para determinar si existe una correlación entre los mismos. La metodología usada para llevar a cabo este estudio en tres playas del norte de la Isla consistió en realizar análisis estadístico de correlación y de medias geométricas, utilizando datos bacteriológicos y de precipitación en un período de cuatro años. Además, llevamos a cabo observaciones en cada uno de los lugares de estudios para determinar posibles focos de contaminación. Entre los hallazgos encontramos que en general las tres áreas de estudio presentan patrones de menor porcentaje de incumplimiento de los estándares en los meses de poca lluvia y de mayor incumplimiento en los meses de más cantidad de lluvia reportada. Basado en los resultados analíticos podemos decir que la lluvia junto con las escorrentías superficiales es una de las fuentes, pero no la única, de contaminación microbiológica. Y no se encontró correlación entre los eventos de lluvia y las concentraciones de bacterias. Las bacterias indicadores podrían tener otras fuentes como los humanos, animales y la posibilidad de sobrevivencia y reproducción de estos indicadores. En general los resultados de este estudio indican que las concentraciones de bacterias indicadores no necesariamente correlacionan con la intensidad de lluvia registrada en el área.

ABSTRACT

Puerto Rico beaches represent the outdoor resource of more use by the Puerto Rican citizens and carry out great importance for the attraction of the tourism. The following investigation arises by the constant presence of microbes indicators in the water at the beaches in Puerto Rico. The purpose of this research is to: (1) analyze the levels of concentration of faecal coliforms and *enterococci*s to identify if the concentrations are under the water quality standard of EPA and (2) evaluate the correlation between microbes and precipitation. The methodology employ on this study consist of three beaches at the North of Puerto Rico in analyze the data of four years using statistical method of CORREL and geometric mean using the precipitation and microbes concentration data. In addition, a direct observation was made to identify possible sources of contamination. Results indicated that for these three beaches that the percent of impairment is lower at the months with less rain and higher in months with more rain. Based in the analytical data we can say that the rain and the stormwater are one of the sources of indicator microbes but not the only one. And we did not found a correlation between the precipitation and the concentration of indicators microbes. Indicators microbes to these zones may include humans, animals, and possibly the survival or regrowth of those. Overall, the results of this study indicated that the concentrations of indicator microbe do not necessarily correlate to the precipitation in the area.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

La localización de Puerto Rico en el Caribe se caracteriza por un clima tropical todo el año, lo que implica una gran susceptibilidad al paso de huracanes y tormentas tropicales. Los eventos de huracanes y tormentas tropicales ocurren con cierta regularidad y provienen mayormente de la región noroeste de África. Estos eventos atmosféricos que pasan por o cerca de la Isla producen una gran cantidad de escorrentía superficial que transporta a su vez una gran cantidad de sedimentos a las costas (Ahmad et al., 1993; Gupta, 1988; Soler-López, 2001). La lluvia en Puerto Rico varía notablemente a lo largo de la Isla desde menos de 1,000 mm en el área sur hasta 4,000 mm el área este central. Esto debido al efecto de sombra de lluvia. El norte de Puerto Rico tiene una época de sequía que se extiende desde el mes de febrero hasta el mes de abril (Calvesbert, 1970).

La posición geográfica de Puerto Rico hace de las costas uno de nuestros principales recursos naturales (ELA, 1999). El producto principal de atracción turística, de acuerdo a las campañas de mercadeo, sigue siendo el sol, el mar y la playa (Ortiz, 2003). Entre los recursos costaneros la Isla posee: arrecifes, manglares, bosques costaneros, dunas y playas, entre otros (USGS, 2005). Esta isla caribeña consta de 78 municipios de los cuales 43 cuentan con una zona costanera que contiene cerca de 300 playas (ELA, 2000). Puerto Rico tiene 5,394 millas de ríos y corrientes, 3,843 acres de estuarios, 550 millas de costas, y 34 embalses (JCA, 2004). Las 550 millas de costas, incluyen las islas de Mona, Vieques y Culebra. De este total sólo 63 millas de costa son

monitoreadas para considerar algunos aspectos de calidad de agua (NRDC, 2002). De la gran cantidad de playas existentes en Puerto Rico sólo se monitorean 23 bajo el Programa de Monitoría de Playas y Notificación Pública PMPN. Este Programa de monitoría nacional surge mediante la ley federal BEACH y es subvencionado por la Agencia Protección Ambiental EPA (por sus siglas en inglés), bajo la Ley de Playas o BEACH, por su siglas en inglés, de octubre de 2000 (JCA, 2006). Los únicos parámetros que se evalúan bajo dicho programa de monitoreo con el fin de determinar niveles de contaminación por patógenos en las aguas costeras son coliformes fecales y enterococos (JCA, 2006).

Las aguas costeras contaminadas son un riesgo para nuestra salud, pero también tienen un impacto negativo en nuestra economía. Según la Comisión de Políticas del Océano de los Estados Unidos, el turismo y la recreación en las playas constituyen uno de los sectores de negocios de más rápido crecimiento, enriqueciendo economías y brindando oportunidad de trabajos en comunidades a lo largo de todas las costas de los Estados Unidos continental, el Sureste de Alaska, Hawai, y Puerto Rico.

La economía playera de los Estados Unidos podría haber sido más robusta si no fuera por las condiciones de la calidad de las aguas. Según datos del año 2000 presentados por la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA), por sus siglas en inglés, un 45 por ciento de las aguas en las playas, evaluadas por los estados, no están lo suficientemente limpias para la pesca o el baño (EPA, 2000). La recreación marina y el turismo contribuyen significativamente a la economía de Puerto Rico (Chaparro, 2002).

Existen varios factores que pueden influir en la calidad del agua en un cuerpo de agua como lo es el tipo de suelo (MacKay, 1994). No obstante, es más probable que sean

las actividades humanas las que tengan mayor impacto en calidad de agua (Berry, 2000; Di Giacomo et al., 2004; MacKay, 1994; Wright et al., 1993). Las actividades comerciales, industriales y domésticas resultan en la producción de desperdicios y contaminantes en la cuenca hidrográfica. Estas pueden provenir de dos tipos de fuentes: las fuentes precisas y las fuentes dispersas (Taebi & Droste, 2004). La contaminación dispersa no puede ser identificada por su Punto de origen (Schoeman, 1997). Y se describe como el agua que fluye en la superficie, disuelve los contaminantes y lava los sedimentos del suelo a lo largo de su paso y finalmente descarga en un cuerpo de agua (Taebi & Droste, 2004). En el estudio de Wright et al., (1993) menciona que más del 80% de los contaminantes durante un evento de lluvia en áreas urbanas se originan de fuentes dispersas. Estudios recientes han demostrado que el agua de escorrentía superficial es la mayor fuente de contaminación del agua salada (DiGiacomo et al., 2004).

Cuando llueve, parte de la lluvia es interceptada por la vegetación, otra parte de la misma se evapora y también se, infiltra por el suelo o es retenida por depresiones del suelo. Si la lluvia excede la intercepción y capacidad de infiltración del suelo comienza la escorrentía superficial, la cual eventualmente será colectada en los canales o ríos (Wright et al., 1993). El agua de lluvia en sí no es un contaminante, pero actúa como medio de transporte para algunos contaminantes (Berry, 2000; Lee & Bang, 2000; Taebi & Droste, 2004; Wright et al., 1993). Se ha reconocido que el agua de escorrentía superficial en sus etapas tempranas es responsable del acarreo y la suspensión de partículas contaminadas que se encuentran en el suelo. Esto sucede como resultado de lo que se conoce como agua de lavado, la cual se ha caracterizado por tener pobre calidad (Wright et al., 1993).

Se considera que el agua de escorrentía urbana es más propensa a estar contaminada que el agua de escorrentía en la áreas rurales (MacKay, 1994).

La escorrentía urbana es definida por la EPA como cualquier descarga de un sistema de drenaje pluvial (EPA, 2003). La escorrentía urbana contiene agua de lluvia, agua de lavado de suelos, áreas verdes, edificios, carreteras y estacionamientos. Durante eventos de lluvia consiste principalmente de agua de escorrentía que proviene de la cuenca (Pitt, 2001). Pero puede contener aguas provenientes de otras fuentes que no son la lluvia como lo son aguas negras y aguas grises de conexiones ilícitas al sistema de alcantarillado. La JCA establece que las principales fuentes de contaminación dispersa en la Isla son la agricultura, la construcción, la disposición de desperdicios sobre el terreno y la disposición de aguas usadas provenientes de comunidades sin sistemas de alcantarillado (JCA, 2006).

Anteriormente se pensaba que el agua de escorrentía sólo se asociaba con el riesgo de inundaciones. Recientemente los ingenieros y científicos ambientales le están prestando mayor atención debido a los diferentes riesgos que podrían estar asociados con las escorrentías urbanas y la calidad del agua del cuerpo receptor (Pitt, 2001). Las escorrentías urbanas son comúnmente señaladas como una fuente potencial de contaminación por el acarreo de bacterias, altas concentraciones de patógenos y de organismos indicadores encontrados en aguas receptoras. Esto ha sido de gran preocupación debido a los riesgos en la salud que representa y sus implicaciones en lugares de recreación acuática (Pitt et al., Sin fecha).

Existe una gran dificultad para separar los efectos de las escorrentías rurales (lluvia) de las aguas receptoras. La razón de esto es que estas aguas receptoras podrían

también ser afectadas por otras fuentes de contaminación dispersa o puntual como lo son las descargas de aguas negras, descargas industriales y residuos de la agricultura (EPA, 2003).

Los tipos de contaminantes que se pueden encontrar en aguas de escorrentía son muy variados, incluyen sólidos suspendidos, metales pesados, patógenos, hidrocarburos, contaminantes orgánicos y residuos sólidos (DiGiacomo et al., 2004; Fanshawe & Everard, 2002; Wright et al., 1993).

Los patógenos han sido reportados como una de las causas principales de incumplimientos en la calidad del agua de lagos y ríos en los Estados Unidos. Los patógenos del agua por definición son microorganismos que causan enfermedades y que actualmente ponen en riesgo la salud de los humanos, ejemplo de estos son los virus, protozoarios y bacterias (EPA, 2000). Estos podrían causar enfermedades respiratorias, problemas gastrointestinales, deshidratación, inflamación del cerebro, infecciones del oído y anomalías en el corazón (EPA, 2000). Cientos de playas en los Estados Unidos son cerradas y/o alertadas cada año debido a contaminación de bacterias. Datos históricos muestran que durante el año 2002 cerca de 709 playas fueron cerradas o alertadas de las 2,823 reportadas bajo el programa de monitoría de la EPA (EPA, 2003).

El análisis bacteriológico del agua es utilizado para determinar la calidad sanitaria de la misma y se utiliza métodos indirectos que indican el grado de contaminación con excrementos. Se emplean técnicas para la detección y recuento de organismos indicadores tales como el *E. coli*, porque principalmente interesa conocer el peligro potencial de la transmisión de patógenos a través del agua, antes que la búsqueda específica de éstos (Carrillo, 2003). En este estudio se utilizan los datos de los

indicadores establecidos por la EPA. Los datos son generados y validados por Junta de Calidad Ambiental en Puerto Rico, y determinar el grado de contaminación con excrementos de sistemas marinos. El análisis bacteriológico del agua evalúa el conteo de coliformes fecales y enterococos por cada 100 mililitros de muestra para indicadores fecales.

El análisis bacteriológico asume que la presencia de indicadores fecales indica presencia potencial de patógenos. Pero debido a la naturaleza de los diferentes indicadores fecales y el ambiente donde estos se encuentran, estos no necesariamente reflejan la presencia de patógenos (Shergill, 2004). Sin embargo, algunos estudios han reportado algunas correlaciones entre algunos indicadores específicos con ciertos patógenos (Lemarchand & Lebaron, 2003; Lipp et al., 2001; Payment et al., 2000).

Comúnmente el grupo coliforme ha mostrado una pobre correlación con microorganismos patógenos entéricos (Savichtcheva y Satoshi, 2006). Esto puede ser parcialmente explicado por las diferencias en tiempos de vida, crecimiento y persistencia de los organismos en los ambientes acuáticos (Carillo et al., 1985; Oostsubo et al., 2002; Oostsubo et al., 2003; Ottson y Stenstrom, 2003). Un ejemplo de estas diferencias es la habilidad que tiene los coliformes de multiplicarse en ambientes acuáticos, en especial si éstos se encuentran en aguas grises, (Ottson y Stenstrom, 2003) y en ambientes tropicales (Carillo et al., 1985; Desmarais et al., 2002).

Los miembros de la especies de enterococos muestran mayor relación con el riesgo de contagiarse con alguna enfermedad transmitida por el agua, debido a que los mismos tienen una resistencia similar a los patógenos potenciales en el agua (Kinzelman et al., 2003). Ha sido demostrado que existe una importante relación entre la presencia de

enterococos en aguas de uso recreacional y riesgo a la salud, en específico síntomas de enfermedades gastrointestinales (Audicana et al., 1995; Kinzelman et al., 2003).

La Ley de playas federal o BEACH Act, por sus siglas inglés, del 10 de octubre de 2000, regula los estándares de patógenos en las agua costeras recreacionales en Puerto Rico. La misma enmendó la Ley de Agua Limpia (CWA), por sus siglas en inglés, incluyendo la sección 406. La ley de Playas estipula que todos los estados, tribus y territorios deben adoptar los estándares de calidad de agua que se establecen referente a patógenos y sus indicadores para aguas de uso recreativo en las costas. Dicha ley también pide que se revisen los criterios de calidad del agua para los indicadores patógenos y que se desarrolle un programa de monitoría y notificación pública de la calidad de agua en áreas costeras para uso recreativo. En Puerto Rico la agencia encargada de realizar este monitoreo y notificación es la JCA en coordinación con la región II EPA. Entre las playas que se encuentran bajo este programa están el Balneario La Monserrate en Luquillo, el Balneario Escambrón en San Juan y el Balneario Punta Salinas en Toa Baja entre otras.

Aún en el año 2002, los estándares de enterococos de la Ley de Playas para aguas del océano y bahías, no habían sido adoptados por Puerto Rico. Específicamente para un muestra simple a un máximo de 104/100ml y un promedio geométrico de 35/100ml (40 CFR Part. 131) según la EPA. Por consiguiente es necesario analizar el efecto de la intensidad de lluvia en la calidad del agua de las playas en Puerto Rico y su relación con las descargas de aguas usadas o actividades humanas.

Mediante la implantación del PMNP la JCA ha recopilado una serie de datos sobre la calidad del agua desde el año 2003 hasta el presente de algunas playas de Puerto Rico. Las playas que están siendo monitoreadas han sido clasificadas por la JCA como

playas aptas para bañistas. En los meses agosto y septiembre de 2006, varias playas en Puerto Rico excedieron los parámetros de indicadores fecales, dicha noticia alertó a los ciudadanos puertorriqueños. En la fecha del 11 de agosto 2006, los balnearios de Escambrón en San Juan, Caña Gorda en Guánica, Cerro Gordo en Dorado, Puerto Nuevo en Vega Baja y Punta Santiago en Humacao no cumplieron con los estándares. Para el informe del 31 de agosto del 2006, los balnearios de Patillas, Crash Boat en Aguadilla y Puerto Nuevo en Vega Baja no cumplieron con los estándares de calidad de agua. Debido al patrón de contaminación observado la Comisión de Recursos Naturales, Conservación y Medioambiente de la Cámara de Representantes realizó una investigación sobre los análisis bacteriológicos que realiza la JCA en las playas y balnearios públicos del País. En dicha vista, la JCA, el Departamento de Recursos Naturales (DRNA) y la Compañía de Parques Nacionales de Puerto Rico (CPNPR) coincidieron en que debe realizarse un monitoreo más frecuente sobre la calidad del agua de nuestras playas y balnearios. La DRNA identificó que la contaminación podría ser causada por fuentes dispersas de contaminación, y que en las aguas costeras la contaminación se da por las esorrentías urbanas y el desbordamiento de los alcantarillados sanitarios (DRNA, 2006).

Problema de estudio

Las aguas superficiales en Puerto Rico, incluyendo los ríos y embalses, son de calidad generalmente pobre debido a descargas sanitarias, agrícolas e industriales (DRNA, 2004). La JCA y la EPA estimaron recientemente que aproximadamente el 40% de los cuerpos de agua superficiales en la Isla no cumplen con los estándares de calidad de agua para el medioambiente (JCA, 2003). Los estudios del USGS y la JCA a través de

la Isla demuestran que los contaminantes principales en las aguas superficiales de la Isla incluyen bacterias de origen fecal, nutrientes, y compuestos orgánicos volátiles (USGS, 2002). Estos contaminantes provienen de plantas de tratamiento, actividades agrícolas, pozos sépticos y descargas domésticas.

Estudios recientes tanto de la EPA y de la JCA establecen que la escorrentía pluvial de zonas urbanas contiene varios contaminantes en concentraciones que exceden las sugeridas por el Departamento de Salud (DS) y la propia EPA como fuentes para agua potable. Esto incluye aceites, grasas, solventes, bacterias, nutrientes y sólidos disueltos. Su uso potencial como fuente de agua potable requeriría el endoso del DS y posiblemente tratamiento especial para remover los contaminantes indicados (DRNA, 2004)

Es necesario conocer la calidad del agua que sirve para la recreación humana, tanto en el ambiente acuático como en el terrestre. Como mínimo, esto significa que las aguas de recreación deben ser analizadas regularmente, y los resultados deben ser medidos en relación a los estándares de salud. Cuando las aguas no estén dentro de estos estándares, el público debe ser notificado pronta y claramente.

Según la Sección 305(b) de la Ley Federal de Agua Limpia cada estado o territorio debe rendir un informe cada dos (2) años sobre la calidad de agua existente en sus cuerpos de agua. Las aguas que no cumplan con los estándares de calidad de agua establecidos tienen que implantar tecnologías para el control de los niveles, aunque éstas sean mínimas. La ley requiere que el estado establezca una escala de prioridades y que desarrolle un nivel máximo de descarga diaria conocido como (TMDL) por sus siglas en inglés para los cuerpos de agua que sea necesario. Para los años 2002 y 2004, la segunda causa de incumplimiento para los cuerpos de agua en Puerto Rico fueron los indicadores

patógenos, enterococos y coliformes fecales. Además, en ambos años se han identificado como de alta prioridad todos los parámetros muestreados entre los cuales se incluyen metales, temperatura, mercurio y nutrientes, entre otros (JCA, 2004). Muchas de las cuencas de Puerto Rico han sido identificadas como de alta prioridad para desarrollar el TMDL una de ellas lo es la cuenca del Río Bayamón. Para el año 2003, la EPA identificó un número de 18 TMDL aprobados para Puerto Rico a causa de incumplimiento de los estándares de agua para coliformes fecales en segmentos de ríos. Entre los segmentos listados se encuentran el Río La Plata y el Río Cibuco (EPA, 2004). Por consiguiente podemos pensar que si un gran número de nuestras cuencas hidrográficas se ven afectadas por contaminación bacteriológica, las playas en las cuales desembocan estas aguas también se verán afectadas. Siendo nuestras costas una de las principales atracciones turísticas y recreativas tanto para el turista local como para el internacional es sumamente necesario investigar si las aguas de escorrentía acarrean un número significativo de contaminantes a las aguas costeras utilizadas por bañistas.

Justificación

Para la temporada de bañistas del año 2002, una gran mayoría de los estados costeros y los Grandes Lagos en Estados Unidos y sus territorios, incluyendo a Puerto Rico, reportaron tener al menos una playa donde las escorrentías, y/o las aguas residuales resultaron ser una fuente de contaminación en o cerca de las aguas de baño (NRDC 2002). Dos años más tarde, 13 estados reportaron un promedio de 315 días de cierres/advertencias debido a escorrentías de aguas de tormenta, y 15 estados reportaron un promedio de 88 días de cierres y/o advertencias debido a la contaminación con aguas

residuales. Entre los estados que cerraron y/o emitieron advertencias por contaminación con aguas residuales para el año 2004 se encuentran California, Connecticut, Hawaii, Indiana, Maryland, Minnesota, Nueva Jersey, Nueva York, Carolina del Norte, Carolina del Sur, las Islas Vírgenes, Virginia, Washington, Wisconsin y Puerto Rico (NRDC 2004).

Desde la implantación del PMNP en Puerto Rico se ha observado una alta incidencia en incumplimientos de los estándares de calidad de agua en las playas que son monitoreadas regularmente por la JCA. Por esta razón, es importante determinar si la lluvia constituye una fuente de contaminación primaria en las costas de la Isla. Por consiguiente, es necesario analizar el efecto de eventos de lluvia en la calidad de agua de las playas en Puerto Rico, que son utilizadas diariamente por bañistas, pescadores y practicantes de diferentes actividades acuáticas.

Si la calidad del agua se ve afectada por las escorrentías superficiales, esto podría repercutir en daños tanto económicos, ecológicos y peor aún en la salud de la población expuesta. Por lo tanto, es imperativo evaluar si existe riesgo para poder proveer recomendaciones para su control y manejo.

Del mismo modo, la información obtenida en este estudio sirve para informar y educar a las comunidades cercanas de los posibles efectos de las escorrentías urbanas y de las medidas que se pueden tomar para evitar la contaminación de las mismas.

Preguntas de investigación

- (1) ¿Cumplen las playas estudiadas con los valores de coliformes fecales y enterococos según los estándares establecidos por la EPA?

- (2) ¿Qué relación, si alguna, existe entre la cantidad de lluvia y el aumento de enterococos y coliformes fecales en el área?

Meta

La meta de este estudio consiste en evaluar el impacto de la escorrentía de la lluvia en la calidad microbiológica de las playas Punta Salinas en Toa Baja, Escambrón en San Juan y La Monserrate en Luquillo. La información obtenida en este estudio podrá ayudar a entender mejor las descargas de escorrentías superficiales y a su vez servir de base para el desarrollo de otros estudios en la cuenca.

Objetivos

Para desarrollar la meta antes descrita definimos los siguientes objetivos;

- (1) Analizar los niveles de coliformes fecales y enterococos obtenidos por la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico en los Puntos identificados para determinar si cumple con los estándares establecidos por la Agencia de Protección Ambiental y la Junta de Calidad Ambiental.
- (2) Evaluar los datos de lluvia y los datos de calidad microbiológica de agua para determinar si existe una correlación entre los mismos.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

En el 1920 se realizaron las primeras investigaciones relacionadas con las actividades recreativas en ambientes acuáticos y la incidencia de enfermedades. Estos estudios fueron realizados por la Asociación de Salud Pública de Estados Unidos, y se enfocaron en la ocurrencia de enfermedades infecciosas que pudieran adquirirse en piscinas y otros lugares de recreación acuática (Simons et al., 1920). La primera aportación efectiva fue de Moore (1975) quien estableció las guías bacteriológicas para el agua costera. Eventualmente Wislow y Moxon, (1928) realizaron un estudio de contaminación en el Puerto de New Haven en EE.UU. Los resultados de dicho estudio atribuyen la fiebre tifoidea a nadar en aguas altamente contaminadas y proponen que la densidad de coliformes en aguas recreacionales de contacto primario no deben exceder 100 colonias en 100 mililitros.

Las investigaciones de mayor relevancia en esta temática han sido realizadas por Cabelli (1983). Uno de sus estudios más conocidos para ambientes marinos es el que concluye con la utilización del enterococo como un organismo indicador. Este estudio muestra la mejor correlación entre los síntomas gastrointestinales registrados por personas que nadan en aguas contaminadas. La correlación lineal desarrollada entre la densidad media de enterococo en 100 mililitros de agua destilada y los síntomas gastrointestinales asociados con la natación en 1000 personas se presenta junto con la adaptación efectuada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

(EPA, por sus siglas en inglés) respecto al enterococo como un organismo indicador primario, en vez de utilizar como indicador los coliformes totales y fecales. En un estudio realizado por tres años (1973-1975) y llevado a cabo en las playas de la Ciudad de Nueva York, Cabelli et al. (1983) se concluyó que el enterococo, establece la mejor, correlación con síntomas gastrointestinales tales como vómitos, diarreas, náuseas o dolor de estómago, atribuidos a exposición directa de bañistas en aguas contaminadas. Por consiguiente la EPA para el 1986 adoptó los siguientes nuevos criterios en aguas dulces: *E. Coli* no debe exceder 126 colonias (col) por 100 mililitros (ml), los enterococos no deben exceder 33col/100 ml y en aguas marinas los enterococos no deben exceder 35col/100 ml.

La guía final propuesta por la EPA de los Estados Unidos (USEPA, 1976) expresa: "basado en un mínimo no menor de cinco muestras tomadas en un período no mayor a 30 días, el contenido de coliformes fecales de aguas de recreación de contacto primario no debe exceder un promedio logarítmico de 200col/100 ml, en no más del 10% del total de muestras durante cualquier período de 30 días deben sobrepasar 400col/100 ml". Estos criterios se calculan como la media geométrica de un número estadísticamente suficiente de muestras, generalmente no menos de cinco muestras tomadas a iguales intervalos por un período de 30 días. Dufour y Ballentine realizaron un estudio utilizando los niveles de riesgo de 8 y 19 enfermedades gastrointestinales en 1000 bañistas en playas de agua dulce y salada, respectivamente; ambos estimaron como criterio de coliformes fecales de 200/100ml.

Marco teórico

El análisis microbiológico del agua para determinar la calidad sanitaria utiliza métodos que indican el grado de contaminación con excrementos. Se emplean técnicas para la detección y recuento de organismos indicadores para conocer el peligro potencial de la transmisión de patógenos a través del agua, antes que la búsqueda de éstos (Carrillo, 2003). En este estudio se utilizan los indicadores que utiliza la EPA en Puerto Rico para determinar el grado de contaminación con excrementos existentes en sistemas marinos. Estos son los coliformes totales y enterococos.

Grupo Coliforme

Los coliformes son bacterias de origen entérico que son capaces de fermentar la lactosa con producción de gas. Los géneros de enterobacterias incluidos en el grupo de los coliformes para efectos de análisis de aguas son *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* y *Klebsiella*. Este grupo es el principal indicador para determinar la conveniencia del agua para uso doméstico, industrial u otro. Todos estos organismos son aeróbicos y anaeróbicos facultativos gram-negativo, bacilo-bacterias no esporíferas que fermentan el caldo de lactosa produciendo gas dentro de 48 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ según el método estándar (APHA, 1980).

Enterococos

Los enterococos son bacterias esféricas que forman sus colonias en grupos o cadenas. Se encuentran de manera natural en muchos organismos, incluyendo los humanos, como parte de su flora intestinal. Son microorganismos muy resistentes, capaces de tolerar concentraciones relativamente altas de sales y ácidos. En muchos estudios, los niveles de concentración de los enterococos se relacionan con la incidencia

de enfermedades adquiridas por bañistas y constituyen un indicador muy importante para determinar la contaminación en las playas y en las aguas salobres. Los enterococos presentan una mayor resistencia a la salinidad del agua marina y guardan una mayor relación en los aspectos de riesgo a la salud. El grupo de streptococo fecal excluye a *Streptococcus avium*, *S. bovis* y *S. equinus* conforme al método estándar (APHA, 1980). Los enterococos son indicadores que permiten determinar el grado de la contaminación fecal (Carrillo, 2003).

Estudios de Casos

Efecto de la lluvia en la calidad de agua de una playa regional a lo largo de la costa sur de California

En la costa sureste de California se realizó un estudio con el propósito de investigar si las tormentas afectaban la calidad de dichas aguas. Obtuvieron muestras de 254 lugares entre Santa Bárbara, California y Ensenada, Méjico. La metodología utilizada incluyó la estratificación al azar: (1) playas de arena,(2) costa rocosa,(3) costa adyacente a la salida de los pluviales de escorrentía urbana intermitentes y (4)continúas. Todos los Puntos fueron muestreados por coliformes fecales, en específico *E. Coli*, y enterococos. Los estándares utilizados fueron los estipulados por el gobierno de California los cuales permiten para una muestra simple un máximo diario de 104 colonias para enterococos y 400 colonias para coliformes fecales.

Los resultados revelaron que el 60% de las aguas no cumplieron con los estándares de calidad de agua (ECA) luego de un evento de lluvia. En el caso de las muestras tomadas en clima seco o ausencia de lluvia sólo un 6% de las muestras incumplieron los ECA. En su mayoría los incumplimientos reportados fueron en un solo

parámetro y muy poco por encima de los niveles recomendados. Los hallazgos revelan que en los Puntos adyacentes a pluviales incumplieron en más de 90% luego de eventos de lluvia. En el caso de las tormentas, los incumplimientos son múltiples y los niveles se excedieron por un gran margen.

Entre las conclusiones sobre este estudio es relevante mencionar; que las tormentas tienen un efecto regional dramático en la calidad de agua, los niveles de bacterias indicadoras de contaminación fecal son mayores en magnitud de orden que durante días que no se reportaron lluvias. Las descargas de escorrentía urbana representan la fuente primaria de contaminación fecal para las costas de sureste de California.

Non-Point Sources of Bacteria at the beaches. Is the Rain the Entire Story?

Un estudio de cinco años de la bacteria enterococos en las playas de Stamford en Long Island Sound demuestra valores que pueden estar directamente relacionados con la cantidad de precipitación y son estadísticamente significativos. El estudio tomó en cuenta varios factores en la playa para comparar con la incidencia de altas concentraciones de bacterias. Los factores estudiados fueron; la dirección del viento, las condiciones de las mareas, la temperatura promedio y la variación del oleaje. Otros factores que influenciaron las concentraciones de bacterias fueron pequeños o medianos derrames de en la zona causados por plantas de tratamientos, eventos de lluvias y marejada anormales. En resumen, el estudio demuestra que la escorrentía después de eventos de lluvias significativa afecta la calidad de agua de las playas de uso recreacional en Stamford. Lo que constituye una lluvia a significativa va a varias dependiendo del tipo de drenaje de cada playa y del patrón de lluvia del área. También concluye que entre más Puntos de

drenaje tenga la playa o posibilidades de sequías, menor será la cantidad de lluvia que se necesite para afectar la calidad de agua de la misma.

Comparison of total coliform, fecal coliform, and enterococcus bacterial indicator response for ocean recreational water quality.

Este estudio se enfoca en comparar las relaciones de los indicadores bacteriológicos y el efecto de los cambios en los estándares en las acciones regulatorias en las aguas recreacionales de California. Se realizaron dos estudios en épocas de sequía y uno luego del evento de una tormenta grande. Entre las conclusiones del estudio indican que la bacteria enterococos excede los estándares la mayoría del tiempo, no importando donde se toma la muestra ni el tipo el tiempo que este afectando el área. Se encontró una mayor consistencia de incumplimiento en los estándares en épocas de lluvia. Y durante las épocas de lluvia y en áreas impactadas por alcantarillados pluviales las fallas en los estándares fueron más comunes y las concentraciones de bacterias fueron mayores.

En este mismo estudio atribuyen la consistencia de la presencia de grandes concentraciones de bacterias enterococos a que estas bacterias sobreviven más tiempo en aguas marinas que los coliformes totales y fecales. Hanes y Fragala (1967) encontraron que *E. coli* sobrevive 0.8 días y enterococos sobrevive 2.4 días en aguas marinas. En el 1980 Sieracki y confirmado en el 2000 por Noble se encontró que *E. coli* se degrada más rápido cuando incrementa la intensidad de luz solar

Effects of Human Development on Bacteriological Water Quality in Coastal Watershed

La siguiente investigación se llevó a cabo en el condado de New Hanover en Carolina del Norte. El estudio analizó cuatro años de datos de distribución y abundancia de microorganismos indicadores de patógenos. Los indicadores utilizados fueron

coliformes fecales y *E. coli*. Entre los hallazgos más significativos encontraron que ambos indicadores son inversamente correlacionados a la salinidad. También se obtuvo una correlación positiva para la turbidez y la abundancia de indicadores. Un análisis de demografía y uso de suelos demostró que la abundancia de coliformes fecales está significativamente relacionada con el número de habitantes en la cuenca y aún más correlacionado con el por ciento de tierras desarrolladas en la cuenca. Sin embargo, el factor antropogénico más importante asociado con la abundancia de coliformes fecales fue el por ciento de impermeabilidad de la cuenca. Este por ciento de impermeabilidad incluye casas, carreteras, aceras y estacionamientos. Estas estructuras permiten que el agua de escorrentía se mueva con mayor rapidez hacia las aguas de la costa. El estudio concluye que los riesgos de enfermedades ocasionadas por el agua podrían ser reducidos utilizando buenas prácticas de planificación en las ciudades y zonas urbanas.

Marco legal

Ley sobre Política Pública Ambiental de Puerto Rico (Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004)

La misión de esta ley es, y cito, “proteger la calidad del ambiente, mediante el control de la contaminación del aire, las aguas y los suelos y de la contaminación por ruidos; así como el utilizar todos los medios y medidas prácticas para crear y mantener las condiciones bajo las cuales el hombre y la naturaleza puedan existir en armonía productiva y cumplir con las necesidades sociales y económicas y cualesquiera otras que puedan surgir con las presentes y futuras generaciones de puertorriqueños

Para poder lograr esta misión se creó una ley para la creación de laboratorios de investigaciones ambientales en Puerto Rico con el propósito de controlar las descargas

de contaminantes a cuerpos de agua incluyendo, pero sin limitarse a la implantación del Programa de Permisos y Descargas Federal ("National Pollutant Discharge Elimination System"), con arreglo a lo dispuesto en la Ley Federal de Agua Limpia ("Clean Water Act"), según enmendada, adoptar reglamentos, emitir permisos y dictar órdenes restringiendo el contenido de cualquier desperdicio(s) o sustancia(s) contaminadoras descargadas o que se traten de descargar en las aguas de Puerto Rico y efectuar todas aquellas pruebas y análisis necesarios para determinar el estado de los terrenos y la calidad del agua, el aire y de los componentes biológicos, químicos o físicos de cualquier recurso o sistema natural que se requieran como parte del proceso de concesión, modificación, suspensión, revocación o fiscalización de cualquier permiso, licencia u otro tipo de autorización de la Junta de Calidad Ambiental (JCA, 2004).

Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico versión enmendada marzo 2003

La Junta de Calidad Ambiental (JCA) utiliza como base para realizar la evaluación de los cuerpos de agua de Puerto Rico el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua (RECA), cuya versión enmendada más reciente es de julio de 1990. En dicho reglamento, promulgado y adoptado por la JCA, se designan los usos que deben prevalecer en los distintos cuerpos de agua y las concentraciones máximas o mínimas permitidas para ciertas sustancias a fin de que se puedan cumplir con los usos designados.

Este Reglamento está promulgado conforme a la Ley Sobre Política Pública Ambiental, Ley Núm. 9, aprobada el 18 de junio de 1970, en la actualidad derogada por Ley Sobre Política Pública Ambiental, Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004.

En las secciones 2.1.1 y 2.1.3 este reglamento clasifica como clase SB a las aguas costaneras y estuarinas destinadas para uso en recreación de contacto primario y secundario y para la propagación y preservación de especies deseables, incluyendo especies amenazadas o en peligro de extinción. Los estándares de calidad de agua en coliformes para la clase SB son; el valor simple máximo de coliformes fecales no deberá exceder de 400 colonias / 100 mL y la media geométrica de coliformes fecales en una serie de muestras representativas, (por lo menos 5 muestras) de las aguas tomadas secuencialmente no excederán de 200 colonias/100 ml y no más de 20 por ciento de las muestras excederán 400 colonias/100 ml. El valor simple máximo de enterococos fecales con un nivel de confianza de 75% no deberá exceder de 104 colonias / 100 mL, o la media geométrica de enterococos fecales en una serie de muestras representativas (por lo menos 5 muestras) de las aguas tomadas secuencialmente no excederán de 35 colonias / 100 mL.

Las operaciones de recolección, preservación y análisis de las muestras se efectuarán conforme a los procedimientos que se describen en la edición más reciente aprobada por la APA del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" el CFR (Code Federal Regulation por sus siglas en ingles) 40 Parte 136. Todos los análisis químicos y bacteriológicos serán certificados por profesionales con licencia para practicar su profesión en Puerto Rico.

Ley Núm. 173 del año 2000, Programa para la Promoción, Protección y Conservación de las Playas de Puerto Rico aspirantes a la Bandera Azul

Francia para el 1985 desarrolló el Programa Bandera Azul (PBA), el cual promueve playas limpias y seguras. El PBA ha sido adoptado internacionalmente por

diversos países entre los cuales se encuentra Puerto Rico. En PR se adoptó este Programa mediante la Ley Núm. 173 del año 2000. Dicha ley encomienda a la Compañía de Turismo de Puerto Rico la responsabilidad de la implantación del mencionado Programa.

El PBA (ELA, 2000) establece la otorgación de la Bandera Azul a aquellas playas que cumplan con los siguientes cuatro criterios: calidad de aguas, educación ambiental, manejo ambiental y, seguridad y servicios. Como parte del criterio de calidad de agua, el PBA, exige de forma compulsoria el muestreo para coliformes fecales, enterococos, transparencia y pH.

Puerto Rico actualmente cuenta con cinco playas Bandera Azul (BA). Las playas BA de Puerto Rico son: Balneario Escambrón ubicada en el municipio de San Juan, Balneario de Carolina ubicada en el municipio de Carolina, Balneario de Punta Salinas ubicada en el municipio de Toa Baja, Balneario Seven Seas en Fajardo y Balneario La Monserrate ubicada en el municipio de Luquillo. Las playas que se encuentran en proyectos pilotos para certificación actualmente son: Balnearios Boquerón y Cabo Rojo ubicados en el municipio de Cabo Rojo, Balneario Caña Gorda ubicada en el municipio de Gúanica, Balneario Pico de Piedra ubicada en el municipio de Aguada, Balneario Sunbay ubicada en el municipio de Vieques y el Balneario Manuel Nolo Morales ubicada en el municipio de Dorado.

Ley de agua limpia según enmendada 2000

La ley federal conocida como “BEACH Act” (Beaches Environmental Assessment And Coastal Health) del año 2000 es una enmienda de la Ley de Agua Limpia de los Estados Unidos en la cual se añade la sección 303(i). La sección 303 (i) (A) requiere que no mas tarde del 10 de abril de 2004, los estados de las costas y grandes lagos incluyendo

territorios como Puerto Rico e Islas Vírgenes adopten los estándares de calidad de agua publicados por la EPA, o estándares igualmente protectivos en cuanto a salud pública.

La ley de la BEACH enmendó el Clean Water Act CWA (por sus siglas en inglés) para incluir la sección 104 (v), que requiere que la EPA estudie las asociaciones de los patógenos y la salud humana. También requiere que se revisen los criterios de la sección 304 de CWA (a) para los patógeno y los indicadores patógenos. Los estudios deben ser publicados antes de 2005. La ley estipula que luego de 3 años de que la publicación de EPA que concluya los estados, tribus y territorios que tienen aguas costeras recreacionales deben adoptar nuevos estándares de la calidad del agua para todos los patógenos e indicadores patógenos que apliquen.

BEACH enmendó el CWA para agregar la sección 406, en la cual autoriza EPA a conceder concesiones a los estados y las tribus para desarrollar y ejecutar un programa de monitoreo y avalúo para los patógenos y los indicadores el patógenos en las aguas costeras recreacionales o los lugares similares que son utilizados por el público. También requiere que exista un programa de notificación pública para los estándares de la calidad del agua y los resultados si estos excedieran los estándares. EPA puede otorgar una concesión siempre y cuando el aspirante cumpla con todos los requisitos establecidos. Uno de estos requisitos es que el aspirante debe tener un programa de monitoría y un programa notificación pública en ejecución que sea constante con los criterios del funcionamiento publicados por EPA bajo la ley.

CAPITULO III

METODOLOGIA

Evaluamos los datos de calidad de agua de los balnearios: Punta Salinas en Toa Baja, Escambrón en San Juan y La Monserrate en Luquillo. Además evaluamos los datos de precipitación para determinar si existe o no un efecto en la calidad del agua luego de un evento de lluvia significativa en el área.

Para desarrollar la meta antes descrita se definieron los siguientes objetivos;

- (1) Analizar los niveles de coliformes fecales y enterococos obtenidos por la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico en los Puntos identificados para determinar si cumple con los estándares de la Agencia de Protección Ambiental y la Junta de Calidad Ambiental.
- (2) Evaluar los datos de lluvia y los datos de calidad microbiológica de agua para determinar si existe una correlación entre ellos.

Área de estudio

Balneario de Punta Salinas

El Balneario de Punta Salinas está localizado en la costa norte de Puerto Rico específicamente en el municipio de Toa Baja (Figura 1). El Balneario consiste de una longitud de 1,360 metros y es actualmente administrado por la Compañía de Parques Nacionales de Puerto Rico (CPNPR).

En este balneario se encuentra un Punto de muestreo, el cual está localizado en el área donde se estima la mayor cantidad de los usuarios. Las coordenadas de esta ubicación son 18° 28 21.18 longitud norte y 66° 11 10.01 latitud oeste (Figura 2).

Balneario Escambrón

El Balneario de Escambrón se encuentra ubicado al norte del Parque Luis Muñoz Rivera de; sector Puerta de Tierras en el municipio de San Juan (Figura 3). Dicho balneario es administrado por la Compañía de Parques Nacionales de Puerto Rico. Es una playa altamente utilizada en Puerto Rico y la única ubicada en el área San Juan que cuenta con servicios y facilidades para los usuarios. Su ubicación facilita el acceso del turismo local y extranjero. Durante los meses de mayo a septiembre los usuarios son en su mayoría locales y a partir de octubre a diciembre es frecuentada por usuarios extranjeros. En las cercanías del balneario se encuentran complejos hoteleros, comercios, viviendas y edificios gubernamentales (Ortiz et al.; 2002).

La playa Escambrón tiene dos Puntos de muestreos principales que han sido estudiados a lo largo de los cuatro años, el Punto A que se ubica en las coordenadas $18^{\circ} 58' 01.9770$ longitud y $76^{\circ} 05' 24.9940$ latitud y el B que se ubica en $18^{\circ} 28' 00.2630$ y $66^{\circ} 05' 27.9650$. El Punto A se localiza en el centro de la delimitación de boyas de la playa donde se estima la ubicación de la mayoría de los usuarios. El Punto B está ubicado al este del efluente de un pluvial y al norte de los primeros baños que se encuentran al entrar el balneario (Figura 4).

Balneario La Monserrate

El Balneario La Monserrate se encuentra localizado en el municipio de Luquillo entre la Punta Embarcadero al este y al oeste del barrio Fortuna en la Carretera #3 (Figura 5). Es uno de los Balnearios más extensos de Puerto Rico y, debido a su cercanía al Bosque Nacional El Yunque, es un lugar turístico importante de la zona. El mismo es administrado por la Compañía de Parques Nacionales de Puerto Rico y cuenta con

instalaciones de acampar, gazebos, salvavidas e incluye el Programa Mar Accesible. Este programa facilita el acceso al mar a personas con impedimentos (CPN, 2007). La extensión total de la playa designada para bañistas es de 725 metros aproximadamente (Figura 6) (Ortiz et al., 2002).

La playa La Monserrate tiene dos Puntos de muestreos que han sido estudiados también a lo largo de cuatro años. El Punto A se ubica en las coordenadas $18^{\circ} 22' 50.3250$ longitud y $65^{\circ} 44' 16.2760$ latitud y el Punto B se ubica en $18^{\circ} 22' 50.32$ latitud y $65^{\circ} 43' 55.9000$ longitud. El Punto A se encuentra ubicado en el centro de la playa donde se estima que la mayoría de los usuarios se bañaran. El Punto B está ubicado muy cercano al efluente de un caño formado por la quebrada Mata Plátano adyacente a los kioscos de comida del municipio de Luquillo.

Esta playa cuenta con dos fuentes potenciales de contaminación que son los dos caños de la quebrada Mata Plátano, de los cuales solo uno es muestreado por la JCA. La cuenca hidrográfica del área costanera de la quebrada Mata de Plátano tiene un área de captación de 4.1 millas cuadradas y una población estimada de 9,162 habitantes para el año 2004 (DRNA, 2004). Esta quebrada forma quebradas y caños que desembocan en la orilla: uno al este del área de acampar y el otro al oeste cercano a los Kioscos de Luquillo (Figura 6). Ambas desembocaduras están tapadas por un banco de arena pero durante épocas de lluvias el flujo de agua aumenta y se desbordan pudiendo afectar la calidad del agua (Figura 7) (Ortiz et al., 2002).

Período de estudio

Para este análisis utilizamos los datos de calidad bacteriológica recolectados por la JCA entre los años 2003 al 2006 y los datos de lluvia de USGS para diferentes estaciones entre los años 2003-2006.

Los datos secundarios que utilizamos son realizados y obtenidos por la JCA como parte de su monitoreo regular a la playas bajo el Programa de Bandera Azul en Puerto Rico y el PMNP. Los muestreos son realizados cada 14 días en zonas delimitadas dentro del perímetro de las distintas playas evaluadas. Excepto en caso de incumplimientos de los estándares en que las playas son muestreadas siete días después del incumplimiento. Los parámetros muestreados por la JCA son coliformes totales y enterococos.

Los datos de lluvia correspondientes a los años 2003, 2004, 2005, 2006 fueron obtenidos de la agencia la USGS. Escogimos los datos de precipitación de la estación de la USGS más cercana al Punto de muestreo de calidad del agua. Las estaciones pluviométricas específicas fueron USGS 50049100 Río Piedras en Hato Rey para el Balneario de Escambrón, USGS 50046000 Río La Plata cerca del expreso de Toa Alta para el Balneario Punta Salinas y USGS 50065500 Río Mameyes en Sabanas para el Balneario La Monserrate. Para llevar a cabo esta investigación se consideraron diferentes escenarios. El primer análisis se realizó tomando en consideración los datos de precipitación dos días antes y el día de muestreo, el segundo análisis considero seis días antes y el día de muestreo y el tercer análisis dos días antes del muestreo. Los datos utilizados en esta investigación son catalogados como datos preliminares y sujetos a cambios porque fueron obtenidos directamente de la USGS, agencia que genera los datos,

debido a que la agencia oficial de información de lluvia en Puerto Rico es el Servicio Meteorológico.

Las operaciones de recolección, preservación y análisis de las muestras se efectuaron conforme a los procedimientos que se describen en la edición más reciente aprobada por la APA del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" el CRF 40 Parte 136. Y son debidamente certificados por la JCA, oficina gubernamental calificada para estos procesos.

Análisis de datos

Para determinar la relación entre eventos de lluvia y la concentración de bacterias se realizaron análisis de regresión conocido como CORREL, utilizamos un coeficiente de 95%. Para llevar a cabo este análisis se depuraron los datos de precipitación, trabajando específicamente con lluvias mayores de 0.1 pulgadas de lluvia, lo que se considera una lluvia significativa para en términos de esorrentía. También utilizamos el análisis de las medias geométricas, utilizando cinco muestras consecutivas, con el fin de establecer si existía un patrón entre la intensidad de lluvia y las concentraciones de coliformes. Y se analizaron los por cientos de incumplimiento en los estándares establecidos por la JCA en las diferentes áreas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo presenta los resultados de muestreos de calidad de agua y cantidad de lluvia analizados en los balnearios de Escambrón, Punta Salinas y La Monserrate correspondientes a los años 2003, 2004, 2005 y 2006.

Balneario Escambrón

Incumplimiento de los estándares de calidad de agua

En esta investigación los por cientos de incumplimientos se refieren a que en la fecha indicada uno o ambos estándares se encontraban en incumplimiento según los estándares establecidos en la EPA.

En general observamos en la Figura 8 que el mes de mayor cantidad de lluvia en los cuatro años fue agosto con un promedio de 9 pulgadas y el de menor cantidad de lluvia fue febrero promediando 1.75 pulgadas. El mes de febrero también resultó ser el mes menor por ciento de incumplimiento y el de menor cantidad de lluvia. Por otra parte los meses de julio y agosto correspondieron a los meses de mayor número de incumplimiento. Podría ser atribuido a la gran cantidad de usuarios que visita el balneario para esas fechas. Respecto a los patrones de lluvias que presentó el área, los años 2003 y 2004 fueron los de menor cantidad de lluvia reportados con menos de 4 pulgadas En cambio los años de 2005 y 2006 las lluvias fueron mayores registrando se 7 pulgadas. Esta varianza entre años se encuentra expresada en la Figura 9.

Coliformes fecales Punto A

En dicho estudio también analizamos los diferentes indicadores de calidad de agua en su carácter individual por año con el propósito de definir si existe o no un patrón diferente entre los indicadores.

Los coliformes fecales muestreados para el Punto A de la playa de Escambrón muestran un patrón similar en los cuatro años. Las Figuras 10-13 fueron estudiadas de forma continua, los mayores hallazgos indican que las escorrentías podrían estar afectando la concentración de bacterias. Utilizamos el reglamento de estándares de calidad de agua para analizar las muestras utilizando las medias geométricas. En ninguno de los años se observó incumplimiento en los estándares de calidad de agua para este Punto, de acuerdo a nuestros cálculos utilizando el reglamento establecido por la JCA. El reglamento indica que el promedio de cinco muestras consecutivas no debe exceder 200 colonias en 100 mililitros de agua para la clasificación SB, aguas de contacto primario. Las concentraciones siempre fueron menores de 100 colonias en promedio geométrico. El análisis estadístico por regresión para coliformes fecales reflejó r^2 de 0.0684 para los años 2003 al 2006. El análisis de regresión demuestra que no existe una correlación entre la lluvia y las concentraciones de bacterias.

Coliformes fecales Punto B

En las Figuras 14-17 presentamos la relación entre el promedio de lluvia de 7 días y las concentraciones obtenidas del promedio geométrico para el Punto B de coliformes fecales. En este caso los patrones son más claros y la respuesta de las concentraciones de bacterias con la de cantidad de lluvia son marcadas. En el Punto B los meses de enero a marzo son de poca presencia de bacterias en orden de diez, aumentando esto

significativamente para el mes de abril a orden cercano a cien. Según el análisis estadístico utilizando la prueba de regresión en el Balneario de Escambrón refleja que la relación entre eventos de lluvia y concentración de coliformes fecales B no se puede demostrar, la r^2 obtenida es 0.1227 para los años 2003 al 2006.

Enterococos Punto A

Las Figuras 18-21 reflejan las medias geométricas de la concentración de enterococos en el Punto A y los promedios de lluvia para el Balneario de Escambrón. Cuando observamos las Figuras, los meses de enero a febrero no muestran una cantidad significativa de bacterias, son menores de 35 bacterias por 100 ml para los años 2004-06. Mientras que en el mes de marzo se refleja un aumento en la concentración de bacterias, pero no en todos los casos se puede atribuir a las escorrentías o lluvia. Esto debido a la gran variación de lluvias que existió en los meses de marzo. Luego de realizar el análisis estadístico utilizando regresión en la playa de Escambrón refleja que la relación entre eventos de lluvia y concentración de enterococos A no se puede demostrar, la r^2 obtenida es 0.0178 para los años 2003 al 2006.

Enterococos Punto B

Las Figuras 22-25 reflejan las medias geométricas de la concentración de enterococos. Para el Punto B del Balneario de Escambrón no se pudimos establecer un patrón entre lluvia la y la concentración de bacterias. Esto lo observamos en las Figuras 22-25. Según el análisis estadístico la r^2 obtenida es 0.1457 para los años 2003 al 2006.

Promedio de bacterias

Estudiamos en la Figura 26 las concentraciones de bacterias promediadas en los cuatro años por mes. El análisis nos muestra que la bacteria con mayores concentraciones

a través del año es el enterococo, la misma que indica la de mayor concentración en el Punto B lo que indica al pluvial como fuente potencial de contaminación por escorrentía urbana.

Observaciones generales

El caso del Balneario Escambrón es uno muy particular debido a que la JCA ha identificado como posibles Puntos de contaminación tanto el pluvial existente en el área como los baños adyacentes a la playa. El incidente de contaminación más reciente presentado en el Balneario fue en el mes de marzo 2007. Cuando el alcantarillado pluvial estaba descargando aguas negras y la Junta de Calidad Ambiental notificó que existía una fuente de contaminación no identificada en el área (Apéndice 1). En base a los resultados de calidad de agua y la remoción temporal de la Bandera Azul, certificación de playas, se comenzó una investigación para determinar la fuente de contaminación. Los resultados de la investigación identificaron que existía una ruptura de unas líneas de aguas negras de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. La cercanía al mar de estos baños ha sido un Punto de debate tanto para la otorgación de la certificación de Bandera Azul como para la JCA como posible fuente de contaminación, sin embargo los mismos están conectados a acueductos (Apéndice 2). La CPN administradora de esta playa ejerce prácticas no adecuada para la limpieza de estos baños debido a su ubicación tan cercana a las aguas de uso recreativo. La limpieza de esta área se lleva a cabo con la utilización de mangueras de aguas y químicos de limpieza, toda esta agua cae a la arena y por percolación a las aguas de mar. Este tipo de práctica junto con posibles rupturas las tuberías del baño puede explicar la constante presencia de bacterias en el área.

Otra particularidad de esta playa es la ausencia de ríos cercanos que desemboquen a la misma, lo que significa que los ríos no son un contribuyente significativo de contaminación en épocas de lluvias. Puede inferirse que por esta razón los análisis de correlación de lluvia y bacterias reflejan números tan bajos.

La preocupación principal en esta playa lo es el pluvial ubicado en la misma. El manejo de este pluvial es esencial para garantizar la calidad de agua del balneario. Entre otros posibles factores que podrían impactar la calidad del agua del balneario es la gran cantidad de personas que visitan el balneario.

Balneario Punta Salinas

Incumplimiento de los estándares de calidad de agua

En la Figura 27 podemos observar el promedio de lluvia mensual y el por ciento de incumplimiento en los cuatro años de estudio. Se observó que los meses de enero a marzo para el Balneario de Punta Salinas los estándares de calidad de agua no fueron excedidos cuando lo observamos desde la media geométrica. En cambio para el mes de abril se presentó un 25 por ciento de incumplimiento de los estándares de calidad y un promedio mensual de lluvia de 4.5 pulgadas. Observamos otra alza significativa en incumplimiento para el mes de septiembre con un 43 por ciento de incumplimientos. La Figura 28 muestra la varianza entre lluvia por año.

Coliformes fecales

En los cuatro años de estudio revisados para el Balneario de Punta Salinas, los coliformes fecales no excedieron los estándares de calidad en sus medias geométricas obtenidas de cada cinco muestras consecutivas (Figuras 29-32). Los promedios de lluvia

diaria para esta zona fueron menores de una pulgada. No pudimos observar patrones entre la lluvia y la concentración de coliformes fecales. Utilizando el análisis estadístico de regresión obtuvimos como resultados r^2 es de 0.4871 para los años 2003 al 2006.

Enterococos

Las Figuras 33-36 representan las medias geométricas para la concentración de la bacteria enterococos en el balneario ubicado en Toa Baja. Los resultados indican que existió incumplimiento de los estándares de calidad de agua en todos los años de estudio pero no se observaron patrones de lluvia o por épocas del año. Utilizando el análisis estadístico de regresión obtuvimos el resultado de la r^2 es de 0.4902 para los años 2003 al 2006.

Promedio de bacterias

Analizamos los promedios de bacterias por mes en los cuatro años para ambas bacterias. Dichas bacterias exhiben un aumento significativo en los meses de agosto y septiembre. Los meses de menor concentración promedio fueron los de junio y julio. Si analizamos esta gráfica en conjunto con la de promedio de lluvias, los picos de las concentraciones concuerdan con los meses de mayor lluvia (Figura 37).

Observaciones generales

El Balneario de Punta Salinas está protegido por un banco de arena que se encuentra en la desembocadura del Río Cocal. Dicho banco se conecta cuando ocurren grandes eventos de lluvia (Apéndice 3). Esta playa tiene ecosistemas de bosques en áreas aledañas lo que atrae la presencia de aves y otros tipos de fauna que podrían contribuir a la presencia de materia fecal en el área. Además de la gran cantidad de visitantes que reciben anualmente que también pueden aportar a la contaminación fecal en el área.

Balneario La Monserrate

Incumplimiento de los estándares de calidad de agua

El por ciento de incumplimiento expresado en la Figura 38 para el Balneario La Monserrate, ubicado en Luquillo, refleja que los meses de mayor incumplimiento son abril y septiembre con 31% y 38% respectivamente. El análisis de los datos nos indica que el mes de mayor cantidad de lluvia promedio es el mes de abril, y en el caso de septiembre aunque en promedio no es uno de los más lluviosos, reflejó fluctuaciones significativas entre años (Figura 39).

Coliformes fecales Punto A

Las Figuras 40-44 representan las medias geométricas de coliformes fecales para el Punto A. En todos los años revisados, observamos una concentración menor de 100 colonias en el área. En el año 2003 la mayor cantidad de lluvia se registró para mes de abril con un promedio por día de 2.5 pulgadas. Luego de estas lluvias observamos un aumento en las concentraciones de coliformes fecales, los cuales disminuyen en los meses de julio y agosto. El segundo ciclo de concentraciones altas lo pudimos observar para los meses de agosto a noviembre. Durante el año 2004 las concentraciones se mantuvieron en fluctuaciones menores de cien y mayores de diez para los meses de enero hasta agosto. Igualmente las lluvias las cuales fluctúan de 0 a 1.25 pulgadas. Utilizando el análisis estadístico de regresión obtuvimos que el resultado de la r^2 es igual a 0.1370 para los años correspondientes al 2003 hasta el 2006. Los resultados estadísticos por regresión confirman lo observado en el análisis de medias geométricas, por lo cual no existe una relación significativa entre la lluvia y la concentración de coliformes fecales.

Coliformes fecales Punto B

Las Figuras 45-48 representan los datos obtenidos para la bacteria coliformes fecales en el Punto B expresados en medias geométricas y promedios de lluvias diarios. Las gráficas estudiadas indican que los eventos de lluvias promedio mayores de 0.5 pulgadas reflejan un incremento visible en los coliformes fecales. Mientras que el Balneario La Monserrate cumple con los estándares establecidos para este indicador. El resultado del análisis de regresión para este Punto fue de r^2 igual a 0.4940. Si comparamos ambos análisis, el Punto A y el Punto B de coliformes fecales concluimos que la calidad de agua cerca al canal presenta impactos de contaminación por eventos de lluvias y por escorrentía superficial. Los datos de regresión sugieren que casi un 50 por ciento del acarreo de bacterias indicadores son causados por la escorrentía superficial. El hecho de que no se observe lo mismo en el Punto A se puede atribuir a muchos factores. Algunos de estos factores son la energía de la playa, la dilución de los contaminantes en el agua, las corrientes marinas y la dirección del viento, entre otros. La dirección del viento predominante de dicho balneario ocurre de este a oeste. Este fenómeno ayuda a evitar que la calidad del agua resulte altamente afectada por este canal ubicado al oeste de la playa. Por otro lado el mismo flujo de viento actúa sobre el canal que no está siendo muestreado en la actualidad por la JCA y que posiblemente sea un foco de contaminación en la zona y representa un riesgo para la calidad del agua de la playa.

Enterococos Puntos A y B

Las Figuras 49-56 representan las concentraciones de enterococos en los Punto A y B de la playa Monserrate. Los resultados no muestran patrones continuos entre las concentraciones de bacterias y los eventos de lluvia. Si aplicamos el reglamento de

estándares de calidad de agua para la playa de Monserrate obtenemos que la playa estuvo en incumplimiento un 90.48 por ciento del año 2003. Ese patrón lo observamos hasta el mes de marzo del año 2004. Esta disminución concuerda con el comienzo de los pasos para que la playa fuera galardonada bajo el Programa de Bandera Azul. Científicamente hablando no se puede atribuir esta serie de incumplimientos a las aguas de escorrentía, debe haber existido una fuente de contaminación constante en el área. Ya para los años subsiguientes observamos un patrón más estable respecto a la lluvia y las concentraciones. Los análisis de correlación para el Punto A fue 0.2600 y para el Punto B fue 0.4074. Concordando con lo que explicamos para coliformes fecales se evidenció el mismo patrón en la desembocadura del canal.

Observaciones generales

A partir de estos hallazgos evaluamos los posibles focos o fuentes de contaminación en la zona. Presumimos que los kioscos aledaños a las zonas de baño pueden representar una fuente. Realizamos una inspección ocular del lugar para identificar posibles focos de contaminación cercanos a la playa y/o a los caños que desembocan en ambos extremos de la playa. De la investigación hallamos que existe un área de humedal al otro extremo de la calle el cual está conectado por tuberías subterráneas a los humedales cercanos al área de costas y que ambos caños tienen conexión en algún Punto (Apéndice 4). Identificamos varias estaciones de bombeos en ambos extremos y una en la playa. En el extremo este de la playa identificamos la estación de bombeo de aguas negras denominada como Solimar (Apéndice 5). En el extremo oeste al otro lado de la carretera # 3 identificamos la estación de bombas Fortuna (Apéndice 6) y la estación de bombas del balneario (Apéndice 7). Si alguna de estas

estaciones presentará desperfectos afectarían la calidad de agua del humedal y por consiguiente la playa. De igual forma observamos que el caño que no es muestreado por la Junta de Calidad Ambiental en el área este de la playa tiene una conexión directa a la misma. Observamos también el flujo de agua de este caño, al igual que los vientos que circulaban el agua hacia el área de bañistas (Apéndice 8).

En el Balneario La Monserrate se detectaron altas concentraciones de coliformes fecales y enterococos durante el mes de julio de 2006, pero no se registró ningún evento de lluvia significativo lo que indicaban que eran otras las fuentes de contaminación de la playa. A raíz de este incidente la JCA junto con la Compañía de Parques Nacionales hicieron pública la notificación de la contaminación en el área. Y llevaron a cabo una reunión con los concesionarios de kioscos adyacentes al balneario. Esta reunión se realizó el 3 de agosto de 2006. En la misma se discutieron los posibles focos de contaminación y la posible redacción de un plan de acción para atender la situación de calidad de agua. Hasta la fecha de hoy no se ha redactado el plan de acción. Cabe destacar que la JCA llevó a cabo unas pruebas de tintes para identificar posibles focos de contaminación en el área, pero al finalizar esta investigación los datos no se encontraban disponibles para ser evaluados.

Esta playa es comúnmente utilizada por acampadores los que pueden también contribuir a la presencia de los indicadores fecales en el agua. Otra posible fuente estudiada es la presencia de un sistema de alcantarillado en el balneario para descartar las aguas usadas, el cual es operado con bombas. Todas estas posibles fuentes necesitan ser evaluadas para determinar la real procedencia de la materia fecal en la zona.

Comparación con otros estudios

En similitud con este estudio McLellan (2003) concluye utilizando los análisis de regresión que existe una pobre correlaciones (menores de r^2 0.30) entre la lluvia y las concentraciones de bacterias. Mientras que Shibata, et al. indica una r^2 de 0.094 para *E. Coli* y 0.171 para enterococos. El estudio de Shibata et al. especifica la correlación mayor entre *E. coli* y enterococos se encontró en la turbidez del agua obteniendo como resultado r^2 0.463 y 0.465 respectivamente.

En contraste con lo encontrado en esta investigación existen varios estudios que han documentado la existencia de correlación entre la lluvia y el aumento de concentración de bacterias en el agua. Otro de los estudios que apoyan la correlación es Kuntz, et al., quien indica que luego de eventos significativos de lluvia la calidad de agua de las playas recreacionales se ve afectada negativamente.

Resumen de resultados

Mediante esta investigación, analizamos las épocas de sequía relativa y de lluvia de tres playas. El por ciento de incumplimiento mensual promedio para cada playa en los años de 2003 hasta 2006. En general las tres áreas de estudio presentan patrones de menor por ciento de incumplimiento de los estándares en los meses de poca lluvia y de mayor incumplimiento en los meses de más cantidad de lluvia reportada. Este fenómeno es constantemente observado en los meses de enero, febrero y marzo, en los cuales observamos que la lluvia es de menor grado y existe un mayor cumplimiento. Luego en el mes de abril observamos un aumento en las concentraciones de bacterias con las primeras lluvias fuertes. El fenómeno se conoce como una limpieza del terreno o el “flushing” en

inglés, donde la acumulación de sedimentos y nutrientes de esos meses anteriores a lluvia significativas son lavados por la lluvia y posteriormente llegan a los cuerpos de agua. El agua contenida en el “flushing” se caracteriza por ser rica en sedimentos y por lo tanto en nutrientes lo que permite el crecimiento rápido de las bacterias.

Basado en los resultados analíticos podemos decir que la lluvia junto con las escorrentías superficiales es una de las fuentes, pero no la única, de contaminación microbiológica. El origen de estas fuentes puede atribuirse a las comunidades adyacentes a los ríos, quebradas y playas. Cuando observamos las fotos áreas de cada una de las playas podemos percatarnos de la gran cantidad de casas y/ o estructuras ubicadas en las zonas cercanas al mar. Este gran número de infraestructuras ubicadas en los terrenos cercanos a las playas podría contribuir a la contaminación de las mismas.

Las aguas recreativas contienen mezclas de bacterias patógenas provenientes de los efluentes que descargan a los ríos y las playas, pero también la calidad de agua puede ser afectada por los usuarios de las playas (defecación y desperdicios sólidos), procesos industriales, actividad agrícola y fauna. Además de los microorganismos presentes en el lugar. De modo que cuando observamos altos niveles de concentración de bacterias en ausencia de lluvia se pueden atribuir estos aumentos a las fuentes anteriormente mencionadas. Como indicado por playa no se encontró correlación entre los eventos de lluvia y las concentraciones de bacterias.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En resumen, el agua de escorrentía luego de un evento de lluvia significativo afecta la calidad de agua de las playas de uso recreacional en el norte de Puerto Rico. Lo que constituye una lluvia significativa varía de acuerdo con el tipo de drenaje en los alrededores de la playa y de los patrones de lluvia de la zona. Entre más cercano se encuentren los desagües, los ríos y las quebradas de la playa mayor es el riesgo de contaminación para las aguas recreacionales.

Estudios han demostrado que existe una relación significativa entre eventos de lluvia y epidemias de enfermedades por contaminación de agua (Auld et al. 2004). Este hecho nos indica la necesidad de tomar en cuenta las condiciones meteorológicas y climatológicas para evaluar posibles riesgos en las playas. Esta medida podría dar mejores herramientas e información a los administradores de playas, encargados de salud pública y a los ciudadanos. La información meteorológica debe ser utilizada para diseñar nuevas prácticas preventivas para reducir los riesgos durante eventos de lluvia.

En muchos lugares de importancia turística y recreativa en Puerto Rico no existe una claridad de los objetivos de manejo y por lo tanto tampoco existe estrategias adecuadas para lograr el buen manejo de los mismos recursos. Esta problemática también se observa en las playas utilizadas como áreas recreativas, los múltiples usos del área complican la implantación de planes de manejo efectivos que integren todos los aspectos importantes en la zona. En el caso de los balnearios, en la Isla el mayor enfoque es aspecto el económico y el turístico del área y no se enfatiza en la conservación y

preservación del mismo. El éxito para el manejo de un lugar específico reside en la disponibilidad de datos, conciencia pública, el grado de participación de la comunidad local y el marco político-legal que rige las regulaciones del país. En Puerto Rico a pesar de la existencia de muchas leyes que podrían ser utilizadas para el buen manejo de la zona marítimo terrestre, se observan una gran cantidad de crímenes ambientales, los cuales en su mayoría no son reportados por las agencias o la ciudadanía. En los últimos años la Oficina del Plan de Aguas del DRNA ha estado trabajando con la actualización e implantación del Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico. Este plan tiene entre sus funciones principales el desarrollo y mantenimiento de un banco de datos hídricos para todo Puerto Rico, así como el establecimiento de políticas públicas que dirijan el uso, manejo, conservación y aprovechamiento de los recursos de agua del País. Este plan para ser efectivo necesita ser de acción y no sólo de pura planificación.

La protección de los ecosistemas sigue siendo el eje central para lograr un desarrollo sustentable en la Isla porque la seguridad social, ambiental y económica es interdependiente de estos recursos naturales. La presión que existe en nuestros ecosistemas es vastamente conocida. Pero si comparamos, veremos claramente que los recursos de agua han sido los que han sufrido mayor impacto en la Isla tanto los de agua salada como los de agua dulce. En efecto la mayoría de los ríos han sido fragmentados y/o modificados. La modificación del cauce de los ríos que drenan al mar y la alteración del flujo del agua que escurre en dichos ríos, a causa de la construcción de represas, extracción corteza terrestre y el desparrame urbano, también han afectado los ecosistemas marinos y ambientes asociados. Esto se debe a la reducción y/o al incremento de nutrientes, sedimentos y contaminantes, y a sus efectos en los patrones de movimiento y

circulación de las aguas. Estas alteraciones afectan principalmente los estuarios y otros cuerpos acuáticos que tienen limitado movimiento y renovación. Áreas especiales como los estuarios, que son una parte importante en el mantenimiento de la delicada y compleja cadena alimentaria de muchas aves y peces, requieren una protección total. Se deben también pensar en designar áreas protegidas a las desembocaduras de ríos.

Cuando se pretende manejar los recursos hídricos de forma sustentable se ha de considerar el posible impacto negativo de la actividad humana en el medio ambiente. No basta con extraer el agua de la naturaleza para usarla en la agricultura, la industria y la vida diaria si no se toman en cuenta las necesidades de la naturaleza. Los animales y las plantas, los paisajes y los humedales también necesitan agua limpia. Las aguas residuales deben ser recicladas para reducir al mínimo la contaminación. Los seres humanos deben aprender a respetar la base del recurso del cual la vida depende en última instancia y considerar la tierra y el agua como dos caras de la misma moneda. Por esta razón, las decisiones han de tomarse considerando las cuencas hidrográficas.

Dado que el agua es un recurso tan útil y vital, con impactos tan diversos sobre la sociedad, se encuentra bajo la jurisdicción de una variedad de agencias. Por lo cual existen 17 agencias estatales y federales con responsabilidades específicas referentes al manejo de los recursos de agua en Puerto Rico (JCA, 2006). Sin embargo, a pesar de la existencia de todas estas agencias, los problemas del agua no sólo han persistido a través de los años sino que en muchos de los casos se ha ido agravado. Este grupo de agencias no ha podido unir esfuerzos en la solución de los problemas identificados del recurso agua. La solución de los problemas del agua requiere esfuerzos interagenciales donde participen todas las agencias que tienen responsabilidades sobre este recurso. De acuerdo

con el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, agencia a cargo de administrar y conservar el recurso agua, uno de los principales impedimentos que se confronta para proteger adecuadamente este recurso son las limitaciones presupuestarias (JCA, 2006).

Recomendaciones

Para poder desarrollar estrategias se necesita utilizar programas de educación formal e informal con el énfasis en protección de cuencas hidrográficas. En Puerto Rico no se practica la protección de cuencas hidrográficas. El desarrollo urbano desmedido cercano a las fuentes de agua representa una amenaza al recurso. La política actual de uso de terrenos es conflictiva con las regulaciones y por lo tanto con la conservación de las cuencas. Es necesario un programa agresivo de conservación de cuencas y abastos de agua. Entre las recomendaciones se incluye;

Infraestructura

La infraestructura en muchas de nuestras playas no está planificada para evitar la contaminación ya sea por aguas negras o grises. Como por ejemplo el agua de las duchas cae directamente a la arena, creando canales que se conectan con el agua de mar. Este mismo ejemplo se puede aplicar a los servicios sanitarios y lavamanos. La idea de tener facilidades en la playa es una excelente porque ofrece un servicio necesario a los usuarios para asegurar el disfrute del recurso, pero que tan cercas están ubicadas estas facilidades del mar es el problema. En el caso de la playa de Escambrón la recomendación principal es la relocalización de los servicios sanitarios y duchas que se encuentran en el área oeste de la playa, para evitar la contaminación ya sea por prácticas inadecuadas de limpieza o

por ruptura de las tuberías debido a su proximidad al mar.

Cuenca hidrográfica

Diseñar y desarrollar un plan para el manejo de las cuencas hidrográficas en Puerto Rico. Se debe planificar incluyendo la integración de datos e investigaciones científicas, la educación, acciones y resultados concretos para poder notar y justificar cambios significativos en el área de manejo. Dentro de este plan se debe incluir e identificar el personal que pueda trabajar directamente con las comunidades y que pueda fiscalizar las acciones y manejo de las cuencas.

Diseñar un plan de reforestación en las cuencas de los ríos, utilizando flora adecuada al lugar. Esto beneficiará no tan sólo la calidad de agua sino que puede proveer conectividad entre bosques, incrementar la biomasa, aumentar el hábitat y aumentar la biodiversidad. Desde otro aspecto la reforestación puede disminuir la sedimentación de los ríos y embalses de la Isla.

Métodos de muestreos

En el aspecto de métodos de muestreo se deben identificar métodos más efectivos para los parámetros bacteriológicos. Existen en el mercado diferentes métodos que ahorrarían una considerable cantidad de tiempo a la hora de obtener resultados. Algunos de los métodos que se pueden considerar son el método 1600 aprobado por la EPA mejor conocido como Enterolert y Colilert y PCR son las siglas en inglés de “réplica en cadena de la polimerasa”, una técnica que en el campo de la microbiología ambiental se usa para la identificación de especies (Jiang et al., 2001). Este último es un método de detección de virus que incluyen la recuperación de pequeñas cantidades de virus en volúmenes grandes de agua. El PCR es un método sensible, específico y rápido, y ha sido utilizado

para detectar virus que afectan a los seres humanos, enterovirus, adenovirus y virus de la hepatitis A en aguas de río, agua marina y aguas residuales, entre otros tipos de recursos hídricos (Pina et al., 1998).

El programa dirigido por la JCA y subvencionado con unos \$ 329,240 por EPA en 2007 bajo el Beach ACT de monitoreo y notificación pública de la calidad del agua en Puerto Rico para playas utilizadas por bañistas no es suficiente para monitorear todas las playas clasificadas como aptas para bañistas. La falta de personal y de fondos dificulta esta gestión por parte del gobierno. Sin embargo son estos mismos recursos costeros los que inyectan a la economía puertorriqueña una gran cantidad de dinero anualmente. Se deben asignar unos fondos recurrentes por parte del gobierno estatal para poder llevar a cabo los monitoreos necesarios en estas áreas.

En el caso de realización de muestras, se debe repensar las técnicas y el calendario que utiliza la JCA al presente. En la actualidad los muestreos son realizados lunes, martes y miércoles cada 14 días en las playas y los resultados son publicados de 72 horas a 98 horas después de ser tomadas. Si alguna playa esta incumplimiento se re-muestra una semana después del primer muestreo, estos resultados no son efectivos y carece de valor a la hora de tomar decisiones de cierre y o avisos por los administradores de playas, debido a que las condiciones que afectaron esa playa pueden cambiar rápidamente y que el mayor número de visitantes en las playas se observa en los fines de semana. Recomendaría que se re-muestre no más tardar de 72 horas después de la primera muestra y que se tomen muestras luego de eventos significativos de lluvia que puedan afectar la calidad de agua del balneario. También se podría asignar a un personal que pueda tomar muestras en fines de semana para garantizar la calidad de agua de la

playa. La JCA realiza los muestreos de lunes a miércoles esta estrategia limita la obtención de datos.

Educación

Desarrollar estrategias para ampliar el conocimiento de la población sobre la importancia y las amenazas del recurso agua. Se deben fortalecer los programas de concienciación para garantizar un menor impacto de la calidad de agua. El desarrollo de mejores estrategias de comunicación permitirá el flujo de información necesario y adecuado para que exista la reflexión y un cambio de actitudes que pueda repercutir en una mayor valoración del recurso.

Futuros estudios

Uno de las mayores amenazas del ecosistema marino es la falta de información confiable que ayuden a la toma de decisiones. Por lo tanto es necesario realizar un mayor número de investigaciones en los ecosistemas de Puerto Rico. Debido a que la Isla es relativamente pequeña la conexión entre ecosistemas es inevitable, por esta razón las investigaciones no solo se deben concentrarse en la zona costera sino que también en la zona cárstica, y volcánica montañosa. Específicamente se deben realizar estudios en las alledañas a los cauces de los ríos y quebradas. Estos estudios podrían dirigirse a identificar fuentes de contaminación precisa y dispersas en las zonas Las investigaciones no solo deben identificar los diferentes contaminantes sino que también puedan realizar avalúas de dosis y respuestas y los impactos negativos o positivos de las concentraciones.

Futuros estudios podrían evaluar la cantidad de epidemias en Puerto Rico relacionadas con eventos de lluvia y el contacto directo con el agua. Este tipo de estudio

se puede utilizar para desarrollar modelos de predicción de epidemias. Un ejemplo de estos estudios se observa en algunas parte de los Estados Unidos, donde los administradores de playa utilizan las predicciones basadas en modelos de predicción de calidad de agua para colocar los avisos de cierres o de posible contaminación de agua (Francy et al., 2002). Los modelos de predicción basados en datos de lluvia, temperatura, y otras variables ambientales han demostrado ser una herramienta valiosa porque proveen la oportunidad de realizar un avalúo rápido y predicción de calidad de agua en las playas. Esta práctica en conjunto con la realizada por la JCA podría devengar resultados positivos en la prevención de riesgo y en la información pública. Si analizamos que la JCA pública los resultados de los muestreos de dos a tres días después de haber tomado la muestra, podemos concluir que durante el tiempo que ha transcurrido entre la muestra y la notificación las concentraciones de indicadores patógenos pueden variar significativamente como resultado de algún evento de lluvia, exposición al sol u otra influencia en el agua. Este tipo de situación podría tener dos resultados en el manejo de playas la colocación avisos y/o cierres cuando las concentraciones ya han regresado a su nivel seguro o una playa sin avisos que tenga altas concentraciones que pongan en riesgo la salud de los usuarios.

LITERATURA CITADA

- Ackerman, D., & Weisberg, S.B., (2003). Relationship between rainfall and beach bacterial concentrations on Santa Monica Bay beaches. *Journal of Water and Health*. 01.2, 85-89.
- Ahmad, Rafi, Scatena, F.N., & Gupta, Avijit, (1993). Morphology and sedimentation in Caribbean mountain streams: examples from Jamaica and Puerto Rico: *Sedimentary Geology*, v. 85, p. 157-169.
- Auld H., MacIver, D., & Klaassen, J. (2004). Heavy Rainfall and Waterborne Disease Outbreaks: The Walkerton Example. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 67:1879–1887 2004.
- Berry, M.G. (2000). The development of informal settlements and their impact on the vegetation and rivers in the coastal zone of the South-Eastern Cape. Port Elizabeth: University of Port Elizabeth, Philosophy Doctor Thesis.
- Cabelli, V.J. (1983). Health effects criteria for marine recreational waters. Research Triangle Park, USEPA. 98 p. EPA-600/1-80-031.
- Cabelli, V.J., Dufour, A.P., McCabe, L.J. & Levin, M.A. (1983). A marine recreational water quality criterion consistent with indicator concepts and risk analysis. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 55(10): 1306-1314.
- Calvesbert, R.J. (1970). Climate of Puerto Rico and U.S. Virgin Islands, in *Climatology of the United States No. 60-52; Climate of the States: Washington, D.C., U.S. Department of Commerce, Environmental Science Services Administration, Environmental Data Service*, 29 p.
- Carillo, M., Estrada, E., & Hazen, T.C. (1985). Survival and enumeration of fecal indicator *Bifidobacterium adolescentis* and *E. coli* in tropical forest watershed. *Appl. Environ. Microbiol.* 50, 468-476.
- Carter, M., M., Elsener, J.B., & Bennett, S. P. (2000). A quantitative precipitation forecast experiment for Puerto Rico. *Journal of Hydrology* 239 162-178.
- Chaparro, R. (2002). Desinversión y desinterés: la situación en el manejo de las playas de Puerto Rico (Núm. Publicación UPRSG-G-74). Mayaguez, PR: Sea Grant College Program University of Puerto Rico.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2004a). Inventario Recurso Agua en Puerto Rico Cap 2, p.1-14. Extraído noviembre 2, 2006. <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/administracion-de-recursos-naturales/area-de-recursos-de-agua/negociado-de-recursos-de-agua/oficina-del-plan-de-aguas->

[1/inventario-recursos-de-agua/inventario-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico/Capitulo%20%20CLIMA.pdf](#)

- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2004b). Inventario Recurso Agua en Puerto Rico Cap 9, p.26-28. Extraído noviembre 2, 2006. <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/administracion-de-recursos-naturales/area-de-recursos-de-agua/negociado-de-recursos-de-agua/oficina-del-plan-de-aguas-1/inventario-recursos-de-agua/inventario-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico>.
- Desmarais, T.R., Solo-Gabriele, H.M., &Palmer, C.J. (2002). Influence on soil on fecal indicator organism in tidally influenced subtropical environment. *Appl.*
- Díaz, P.L., Aquino, Zaida, Figueroa-Alamo, Carlos, Vachier, R.J., and Sánchez, A.V. (2000). Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands water year 1999: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-99-1, 599 p. Extraído noviembre 2, 2006 (<http://pubs.usgs.gov/wdr/wdr-pr-99-1>).
- DiGiacomo, P.M., Washburn, L., Holt B., Burton H., & Jones, B.H. (2004). Coastal pollution hazards in Southern California observed by SAR imagery: Storm water plumes, wastewater plumes, and natural hydrocarbon seeps. *Marine Pollution Bulletin*. Retrieved October 1, 2004, from Science Direct online database.
- Dufour, A.P. & Ballentine, P. (1986). Ambient Water Quality Criteria for Bacteria – 1986 (Bacteriological ambient water quality criteria for marine and fresh recreational waters). Washington, D.C. USEPA. 18 p. EPA A440/5-84-002.
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico (2000). Ley Núm. 173 (Ley para Programa para la Promoción, Protección y Conservación de las Playas de Puerto Rico aspirantes a la Bandera Azul) 12 de agosto de 2000.
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico (1999). Ley Núm. 293 (Ley de la Junta Interagencial para el Manejo de las Playas de Puerto Rico) 21 de agosto de 1999.
- Fanshawe, T., & Everard, M. (2002). The impacts of marine litter. (Report No. MaLITT). Marine Pollution Monitoring Management Group.
- Francy, D. S., & Darner, R. A. (2002). *Escherichia coli* at Ohio bathing beaches- Distrution, sources, wasterwater indicators and predictive modeling. U.S. Geological Survey Water Resources Investigtion Report 02-4285. U.S. Geological Services, U.S. Department of Interior, Columbus, OH, USA
- Gupta, Avijit. (1988). Large floods as geomorphic events in the humid tropics, in Baker, V.R., Kochel, R.C., and Patton, P.C., eds., *Flood Geomorphology*: John Wiley, New York, p. 301-314.
- Hanes, N.B., y Fragala C. (1967). Effects of seawater concentration on survival of indicator bacterial. *J Water Pollut Control Fed* 39:97.

- Jiang, S.; Noble, R. & Chu, W. (2001). Human Adenoviruses and Coliphages in Urban Runoff-Impacted Coastal Waters of Southern California. *Applied and Environmental Microbiology* 67:1, pp.179-184.
- Junta de Calidad Ambiental. (1990). Reglamento de estándares de calidad de agua de Puerto Rico (versión enmendada 20 de julio de 1990):104p.
- Junta de Calidad Ambiental. (2003). Goals and progress of state-wide water-quality management planning Puerto Rico, 2002-2003: Government of Puerto Rico, Office of the Governor, San Juan, Puerto Rico, 175 p., 5 appendices.
- Junta de Calidad Ambiental, (2006a). Taller de Manejo de Balnearios y Playas, Programa de Monitoria de Playas y Notificación Pública (18 de agosto de 2006). Extraído noviembre 10, del 2006 <http://www.gobierno.pr/NR/rdonlyres/6313CED1-F0C8-4EFD-A762-35E935D4D811/0/TallerManejodeBalneariosyPlayasPresentacion.pdf>
- Junta de Calidad Ambiental. (2006 b). Informe sobre el estado y la condición de Puerto Rico 2005. Extraído noviembre 10, del 2007 <http://www.gobierno.pr/NR/rdonlyres/B3ACC2A9-CC89-4925-97C11785837C6DE1/0/2RecursoAgua02.pdf>
- Junta de Calidad Ambiental. (2006 c). Plan de Acción Balneario Monserrate. Extraído noviembre 10, del 2007. <http://www.gobierno.pr/NR/rdonlyres>
- Kinzelman, J., Whitman, R.L., Jackson, E. K., Byappanahalli, M.N., and Bagley, R.C.
- Kuntz, J.E., & Murray, R., (1996) Non-Point sources of bacteria at beaches. Is rainfall the entire Story? A five year history, 1991 to 1995 Health Department Laboratory City of Stanford extraído el 20 de febrero de 2006. http://pages.cthome.net/joey_K/nonpoint%20sources.htm
- Lee, J. H., & Bang, K.W. (2000). Characterization of Urban Storm Water. *Water Research*, 34(6), 1773-1780.
- Lemarchand, K., Lebaron, P. (2003). Occurrence of *Salmonella spp.* and *Cryptosporidium spp.* In a French coastal watershed: relationship with fecal indicators. *FEMS Microbiol. Lett.* 218, 203-209
- Lipp, E.K., Farrah, S.A., & Rose, J. B. (2001). Assessment and impact of microbial fecal pollution and human enteric pathogens in coastal community. *Mar. Pollut. Bull.* 42, 286-293
- Kaye, C.A., (1959), Shoreline features and Quaternary shoreline change, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Professional Paper 317-B, 140p., 3pls.

- MacKay, H.M. (1994). Management of water quality in an urban estuary. Port Elizabeth:University of Port Elizabeth, Philosophia Doctor Thesis.
- McLellan, S.L., Salmore, A.K. (2003). Evidence for localized bacterial loading as the cause of chronic beach closing in a freshwater marina. *Water research* 37, 2700-2708
- Moore, B. (1975). The case against microbial standards for bathing beaches. In *Discharge of Sewage from Sea Outfalls*. A.L.H. Gamerson (Ed.), London, Pergamon Press.103p.
- Morelock, J., (1978). *Shoreline of Puerto Rico and Beach*.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2004). U.S. Department of Commerce, Climatological Data, Annual Summary, 3, Puerto Rico and Virgin Islands: 2004 National Oceanic and Atmospheric Administration, 45, no. 13, 16 p.
- Natural Resources Defense Council (2005a). Testing the Water 2005- Resumen Ejecutivo http://www.nrdc.org/water/oceans/ttw/exesum_sp.asp Extraído el 20 de marzo de 2006.
- Natural Resources Defense Council (2005b). Testing the Water 2005- Resumen Ejecutivo <http://www.nrdc.org/water/oceans/ttw/pr-1.asp> Extraído el 20 de marzo de 2006.
- Ottoson, J., Stenström, T.A. (2003). Fecal contamination of grey water and associated microbial risks. *Water Research*, 37, 645-655
- Payment, P., Berte, A., Prevost, M., Menard, B.B., Barbeau, B. (2000). Occurrence of pathogenic microorganisms in the Saint Lawrence River (Canada) and comparison of health risk for populations using it as their sources of drinking water. *Can. J. Microbiol.* 46, 565-576.
- Pina, S., Puig, M., Lucena, F., Jofre, J. y Girones, R. (1998). Viral Pollution in the Environment and in Shellfish: Human Adenovirus Detection by PCR as an Index of Human Viruses. *Applied and Environmental Microbiology* 64:9, pp. 3376-3382.
- Pitt, R. (2001). Methods for detection of inappropriate discharges to storm drainage systems: Back literature and summary of findings. Interim report submitted to EPA in partial fulfillment of contract X-82907801-1.
- Puerto Rico y el Mar. (1974). *Un Programa de Acción sobre Asuntos Marinos Informe al Gobernador San Juan, P.R.*

- Noble, R. L., Weisberg, S.B., Leecaster, M.K., McGee, C.D., Dorsey, J.D., Vainik, P., and Orozco-Borbo´ n V. Storm effects on regional beach water quality along the southern California shoreline
- Rodriguez J.M. (1998). Characterization of Stormwater Discharges from Selected Industrial Parks in Puerto Rico, 1995-96. WRC Report No. 98-4045. U.S Geological Survey
- Savichtcheva, O., Satoshi, O. (2006). Alternative indicators of fecal pollution. Relation with pathogens and conventional indicators, current methodologies for direct pathogens monitoring and future application perspective. *Water Research* 40. 2463-2476.
- Shibata, T., Solo-Gabriele, H. M., Fleming, L.E., and Elmir, S. (2004). Monitoring marine recreational water quality using multiple microbial indicators in an urban tropical environment. *Water Research* 38, 3119-3131
- Schoeman, G. (1997). The development of programs to combat diffuse sources of water pollution in residential areas of developing communities. WRC Report No. 519/1/97.
- Schuyt, K.D. (2005). Economic consequences of wetland degradation for local populations in Africa. *Ecological Economics* 53. 177-190.
- Simons, G.W.; Hilscher, R.; Ferguson, H.F. y Gage, S. de M. (1922). Report of the Committee of Bathing Places. *Amer. J. Pub. Health*, 12(1): 121-123.
- Soler-López, L.R.. (2001). Sedimentation survey results of the principal water-supply reservoirs of Puerto Rico: in Sylva, W.F., ed., *Proceedings of the Sixth Caribbean Islands*
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th. Edition 1980 APHA-AWWA-WPCF, páginas 166 y 167.
- Taebi, A., & Droste R.L. (2004). Pollution loads in urban runoff and sanitary wastewater. *Science of the Total Environment*, 327, 175-184.
- Testing the Waters. (2005). A Guide to Water Quality at Vacation Beaches. Extraído en marzo 20, 2006 http://www.nrdc.org/water/oceans/ttw/exesum_sp.asph
- The U.S. Commission on Ocean Policy. (2005). Preliminary Report of the U.S. Commission on Ocean Policy, Governor’s Draft, Washington, D.C., April 2005. Extraído el 25 de marzo del 2006. <http://www.oceancommission.gov>.
- US Department of Agriculture. (1976). Soil Conservation Services. Soil Survey of San Juan.

- US Geological Services. (2004). Río Bayamón NR Bayamón Extraído el 15 de septiembre, 2006 http://waterdata.usgs.gov/pr/nwis/uv/?site_no=50047850
- US Geological Services (2005). Water, Sediment, and Nutrient Discharge Characteristics of Rivers in Puerto Rico, and their Potential Influence on Coral Reefs. San Juan, Puerto Rico.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1976). Office of Water Planning and Standards. Quality criteria for water. Washington, D.C., USEPA. 537 p. EPA-440/9/76-023.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1984). Water quality criteria. Request for comments. Federal Register, 49(102).
- U.S. Environmental Protection Agency. (1985). Test methods for escherichia coli and enterococci in water by the membrane filter procedure. U.S. Department of Commerce. NTIS. 30 p. EPA-600/4-85/076.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1986). Bacteriological ambient water quality criteria availability. Federal Register, 51(45), p. 8012.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2000) National water quality inventory. Washington D.C.: EPA Office of Water, EPA-841-R-02-001.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2003). EPA's BEACH Watch program: 2002 Swimming Season. EPA 823-F-03-007
- Water Resources Congress, February 22 and 23, (2001), unpaginated CD, also accessed June 2001 at <http://pr.water.usgs.gov/public/reports/soler.html> Mayagüez, Puerto Rico.
- Wymer, L.J., and Dufour, A.P. (2002). Microbiological and Chemical Exposure A model for estimating the incidence of swimming-related gastrointestinal illness as a function of water quality indicators. *Environmetrics*, 13: 669–678 (DOI: 10.1002/env.535)
- Winslow, C.E.A. y Moxon, D. (1928). Bacterial Pollution of Bathing Beaches in New Haven Harbor. *Am. J. Hyg* 8:299
- Wright, A., Kloppers, W., & Fricke, A. (1993). A Hydrological investigation of the stormwater runoff from the Khayelitsha urban catchment in the False Bay area, South WesternCape. WRC Report No 323/1/93.

FIGURAS



Figuras 1. Mapa de la playa de Punta Salinas



Figura 2. Foto aérea de la playa Punta Salinas y los Puntos de muestreo de la JCA

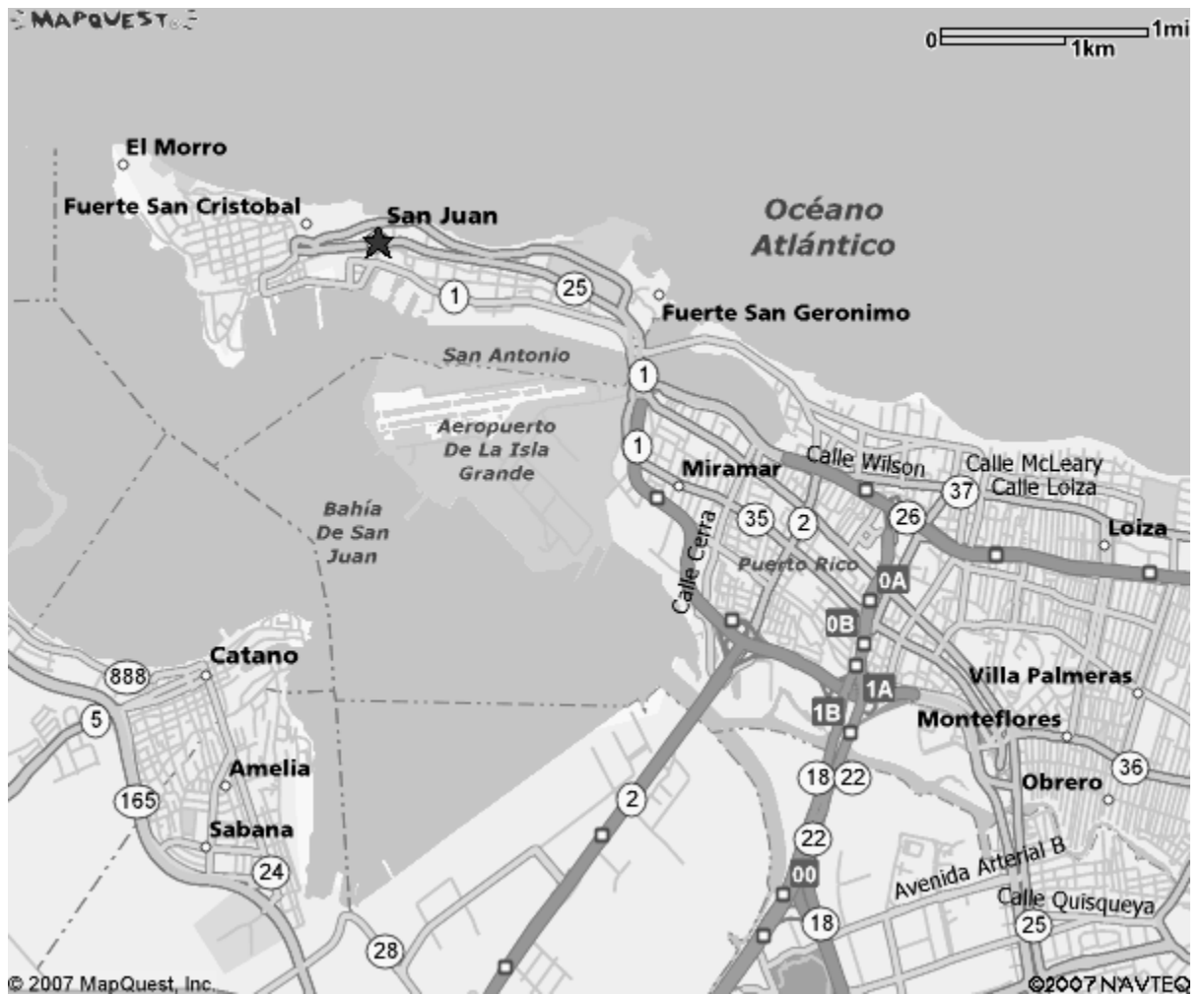


Figura 3. Mapa de Escambrón en el municipio de San Juan.



Figura 4. Foto aérea de la playa Escambrón en el municipio de San Juan.

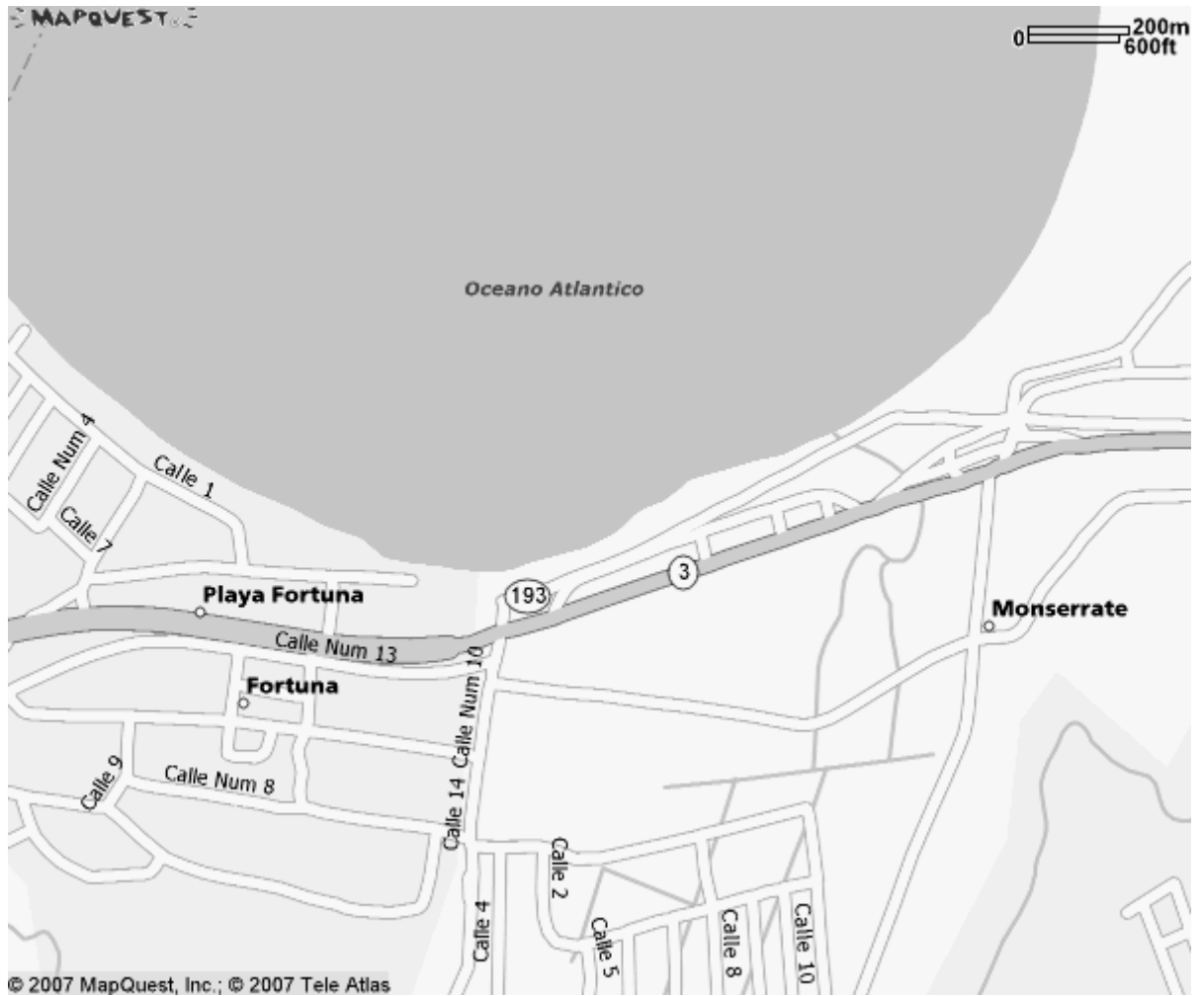


Figura 5. Mapa de la Playa La Monserrate en el municipio de Luquillo.



Figura 6. Foto aérea de la playa La Monserrate en el municipio de Luquillo.



Figura 7. Caño al oeste de la playa La Monserrate en Luquillo.

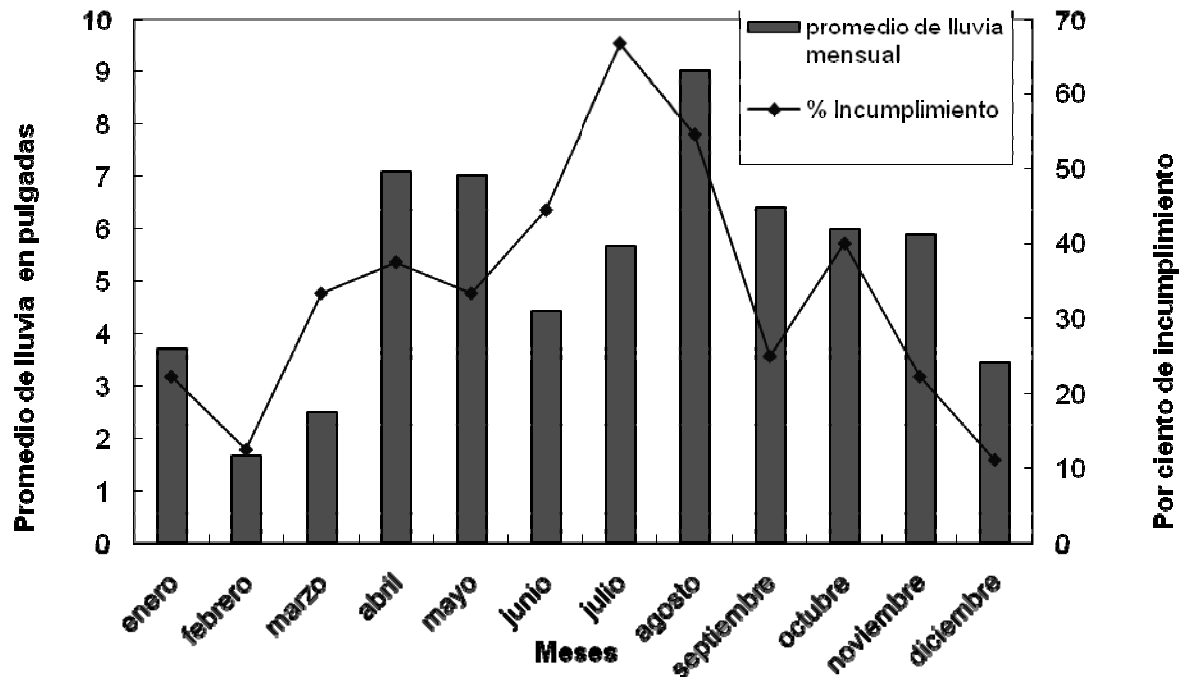


Figura 8. Promedios de lluvias vs. por ciento de incumplimientos de estándares bacteriológicos de calidad de agua para los años 2003-2006 en la playa de Escambrón.

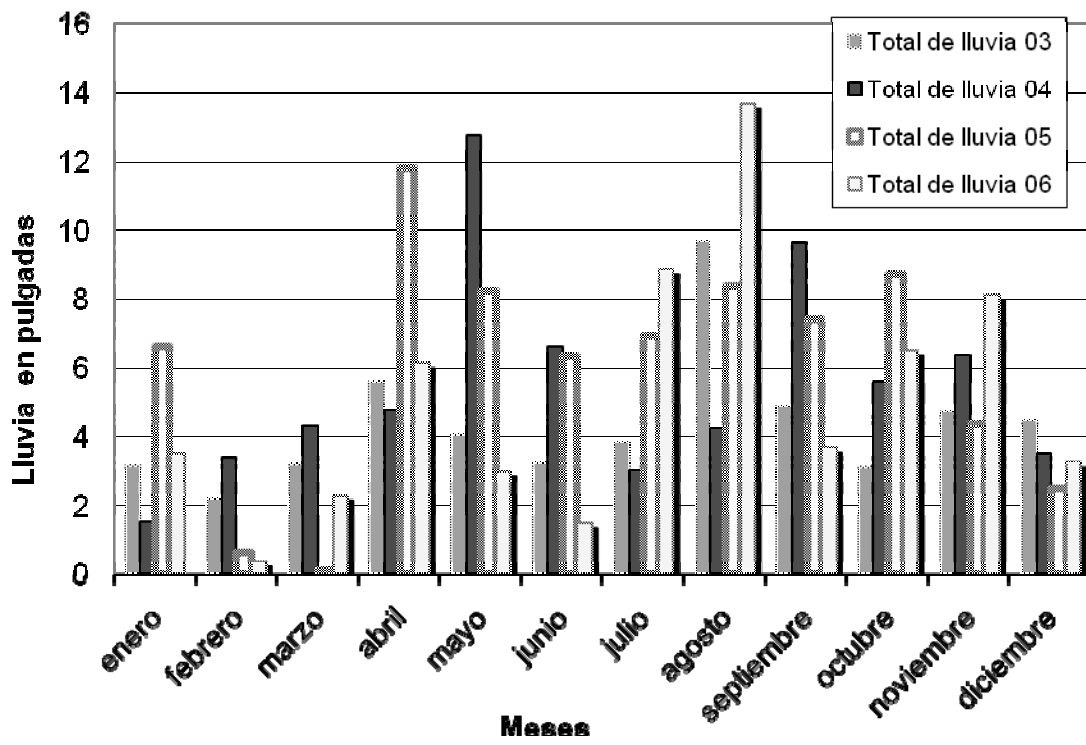


Figura 9. Promedios de lluvias mensuales por año para la playa de Escambrón.

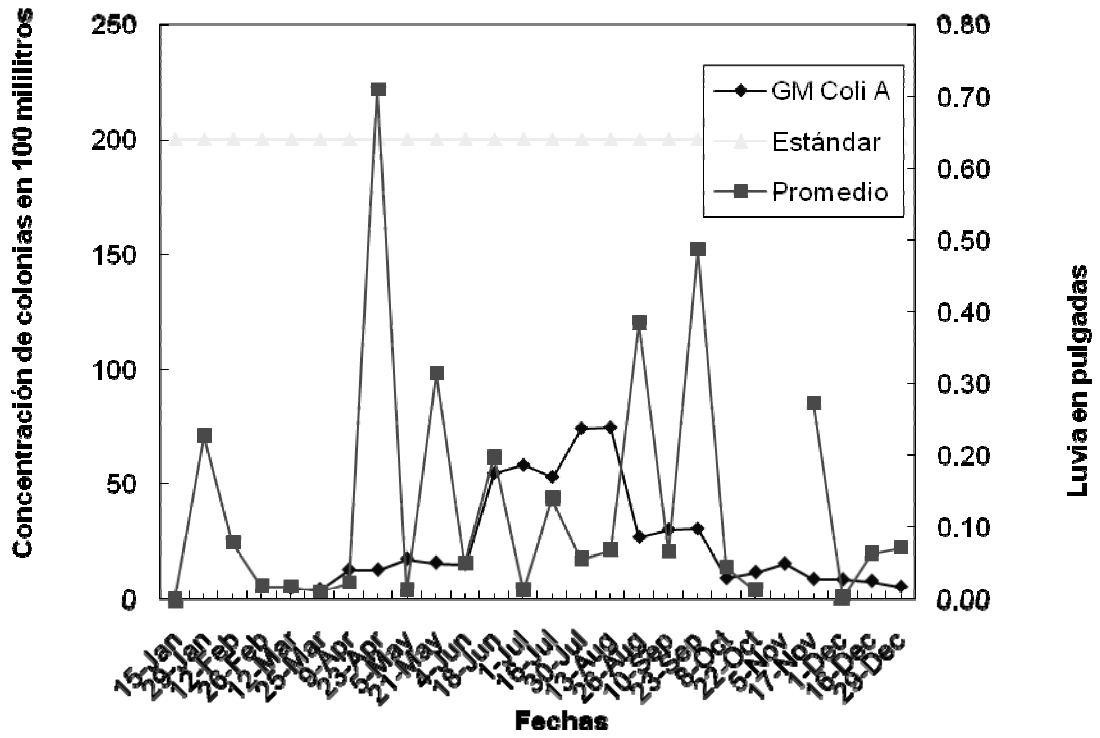


Figura 10. Promedio Geométrico de concentración de coliformes fecales A en la playa de Escambrón, meses de enero a diciembre del 2003. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

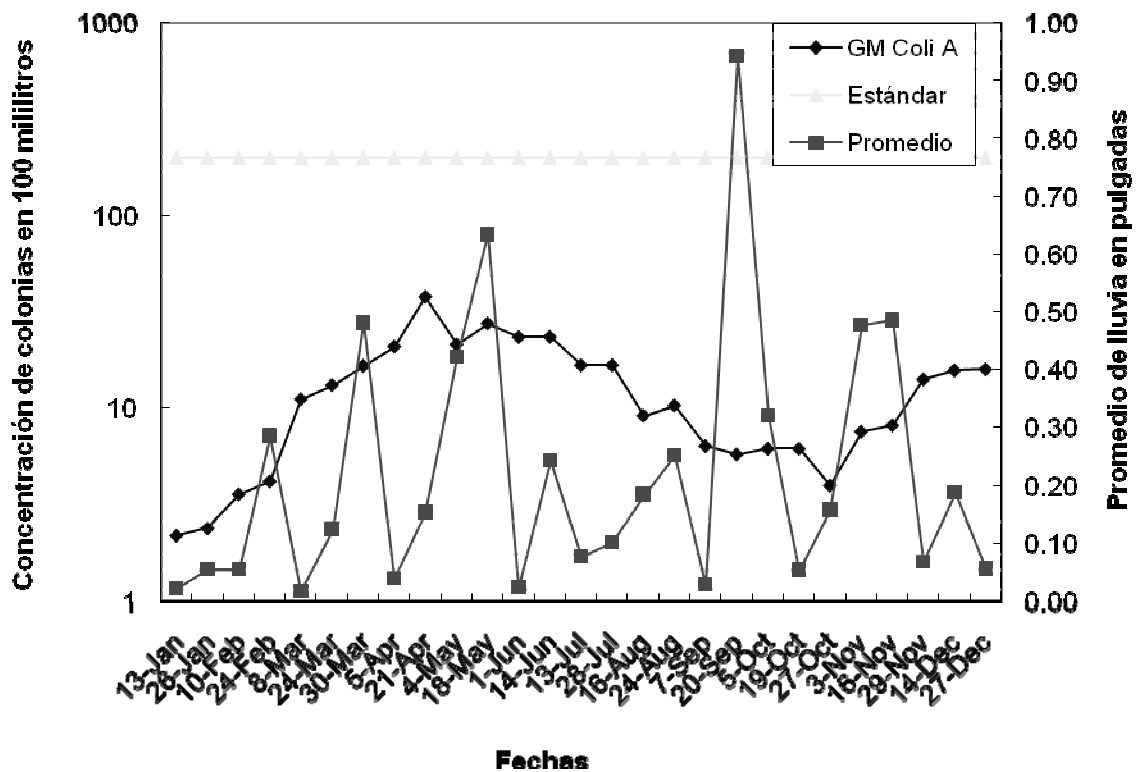


Figura 11. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2004. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

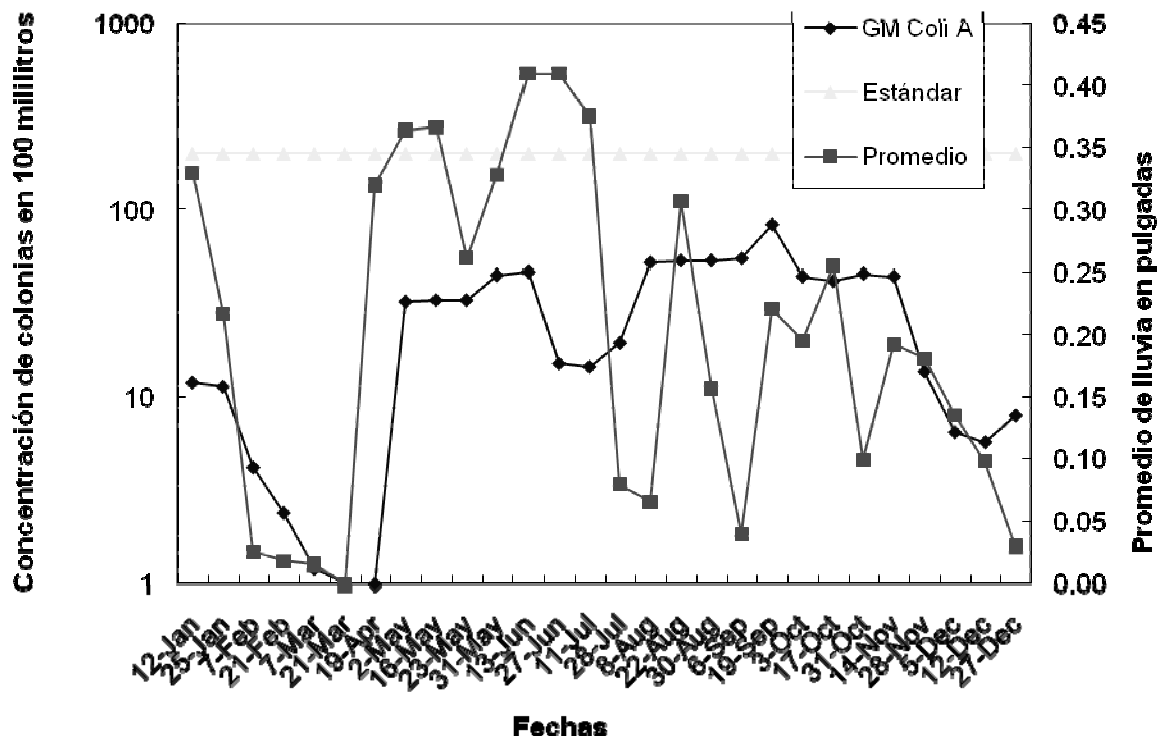


Figura 12. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2005. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

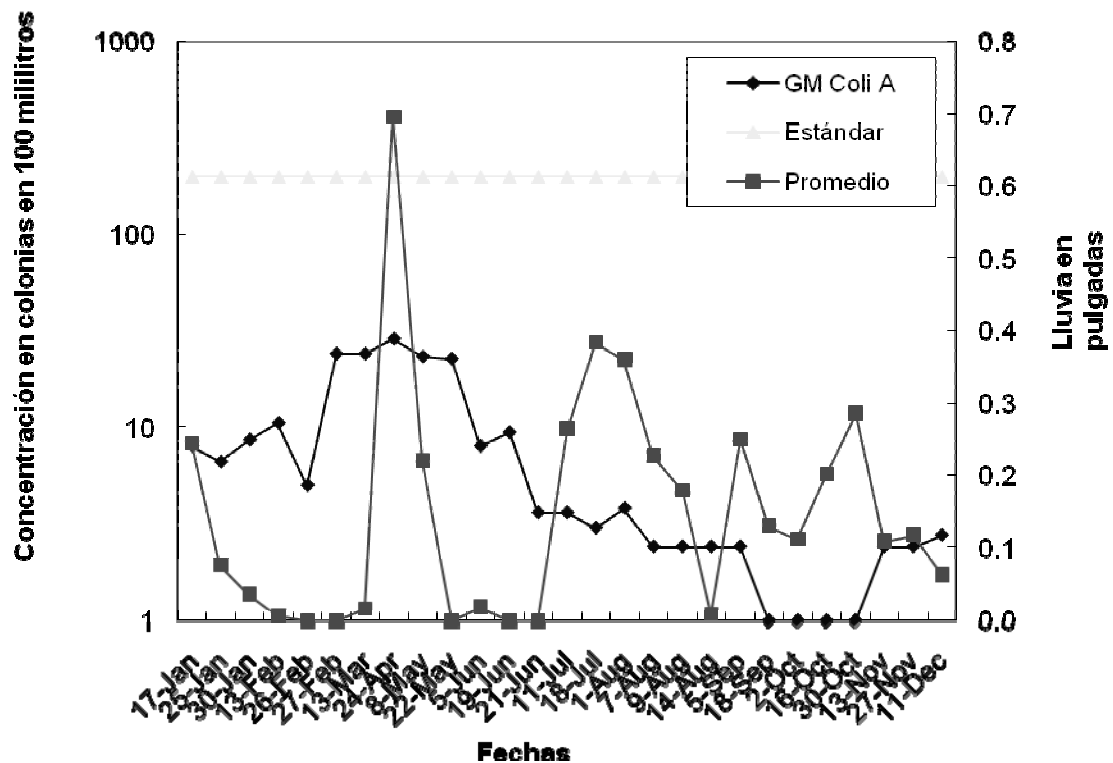


Figura 13. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2006. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

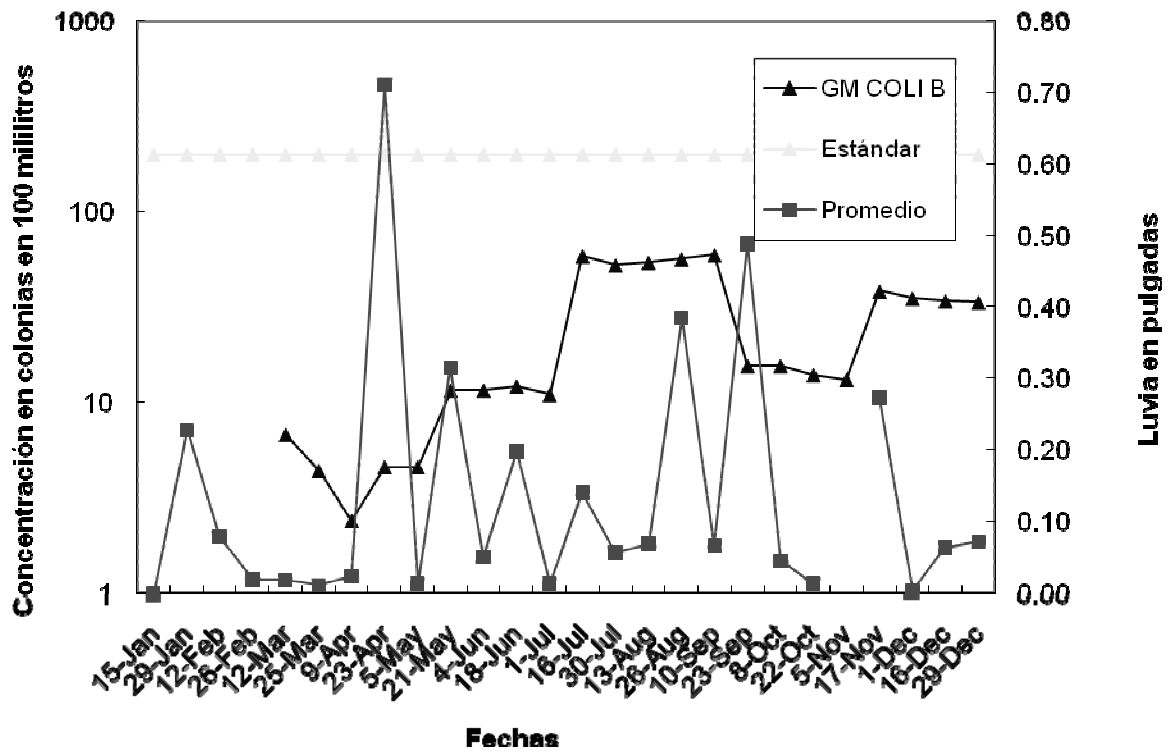


Figura 14. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2003. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

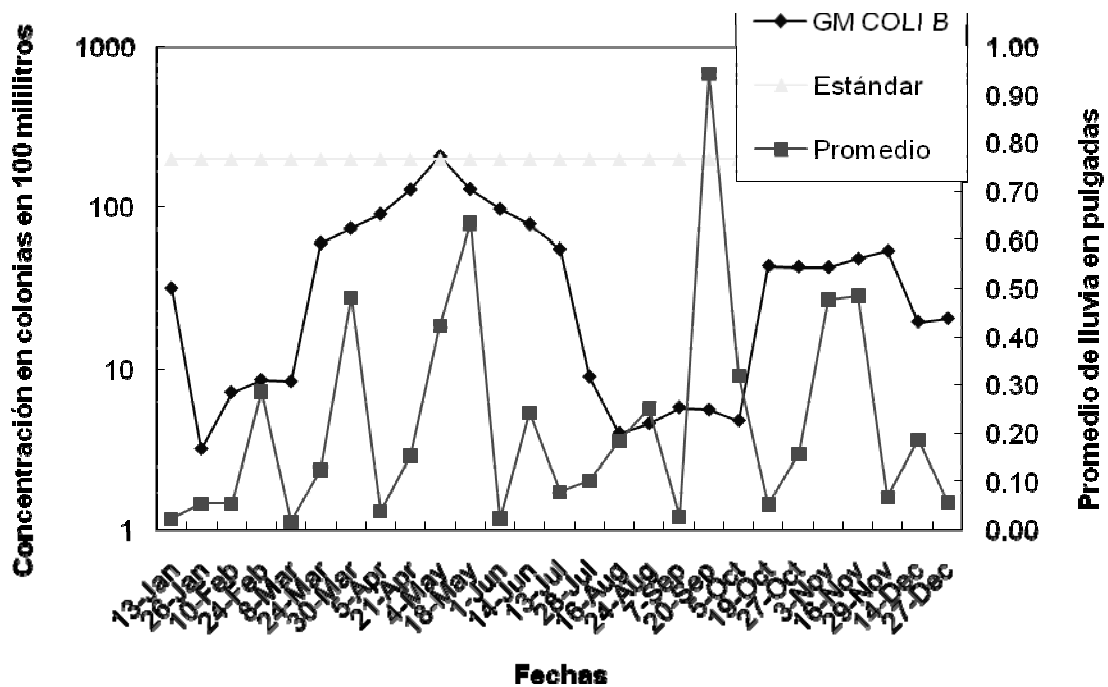


Figura 15. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2004. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

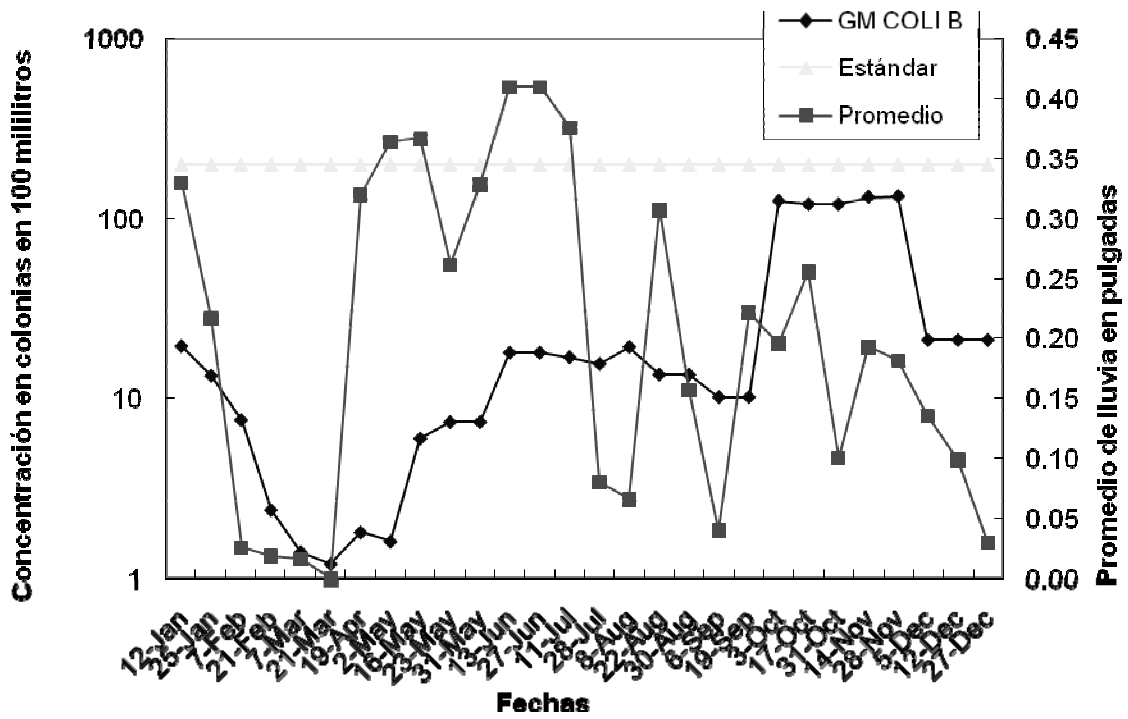


Figura 16. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2005. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

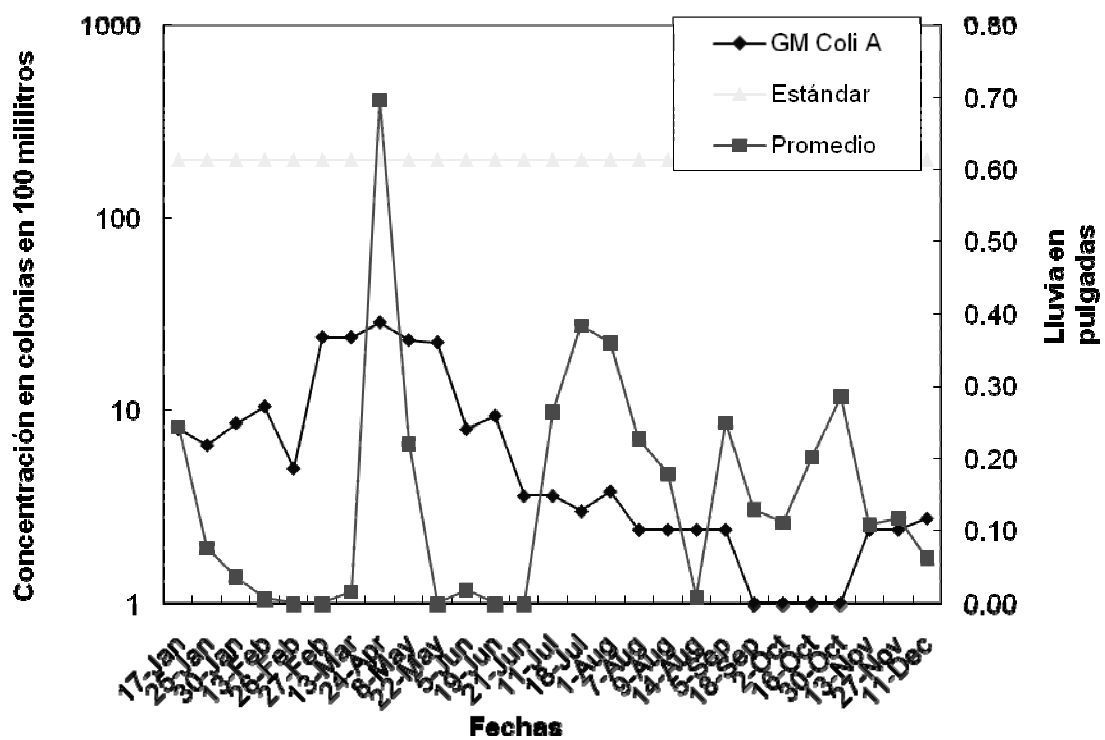


Figura 17. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2006. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

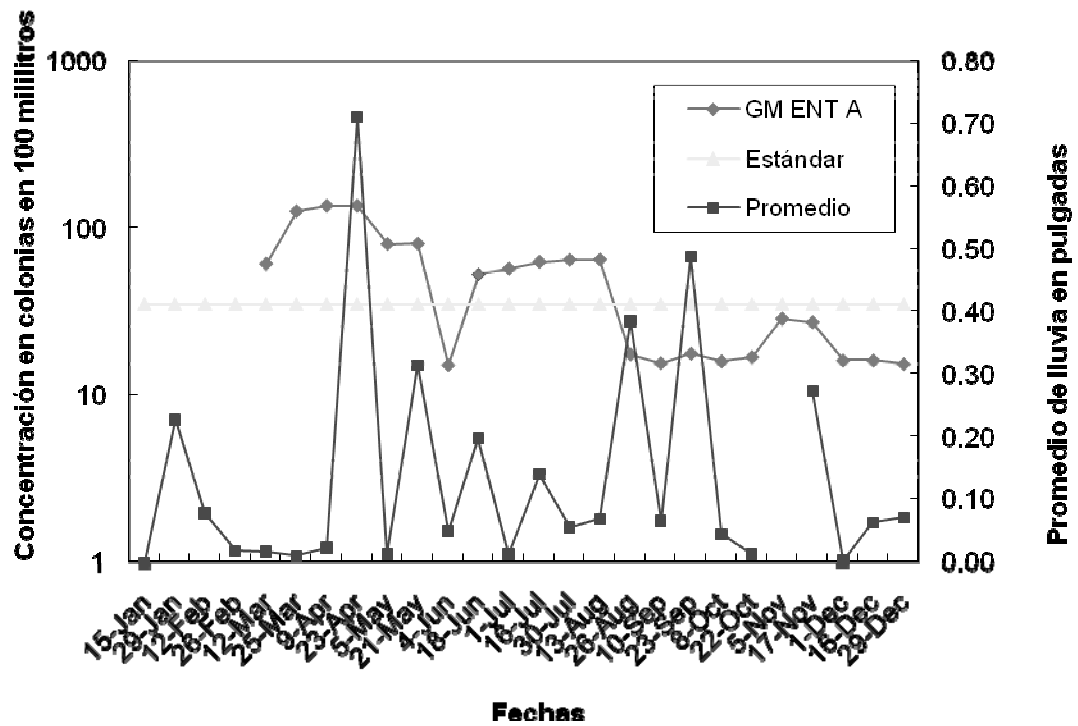


Figura 18. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2003. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

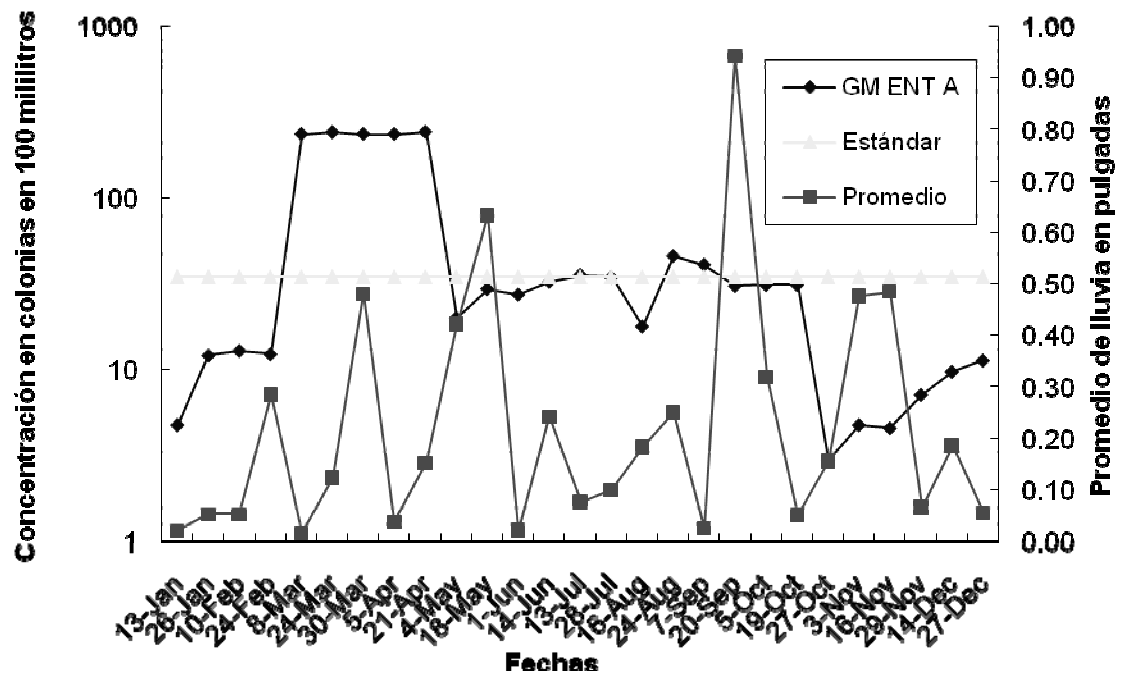


Figura 19. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2004. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

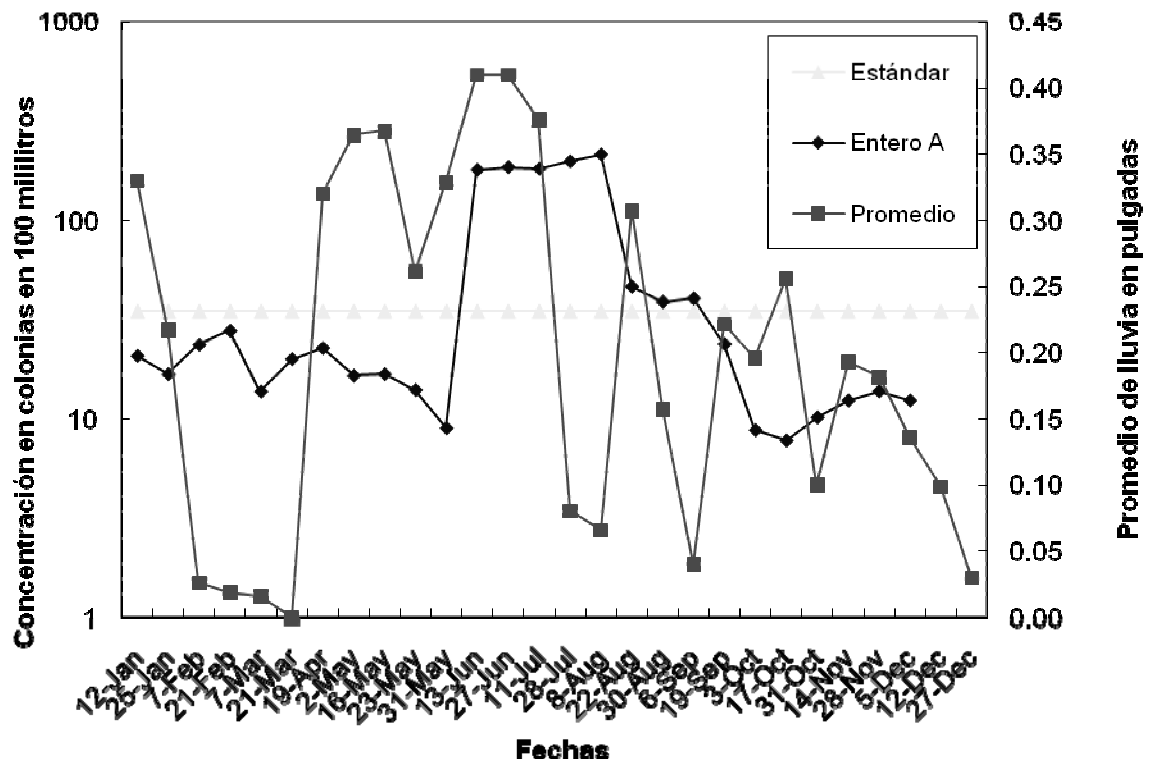


Figura 20. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2005. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

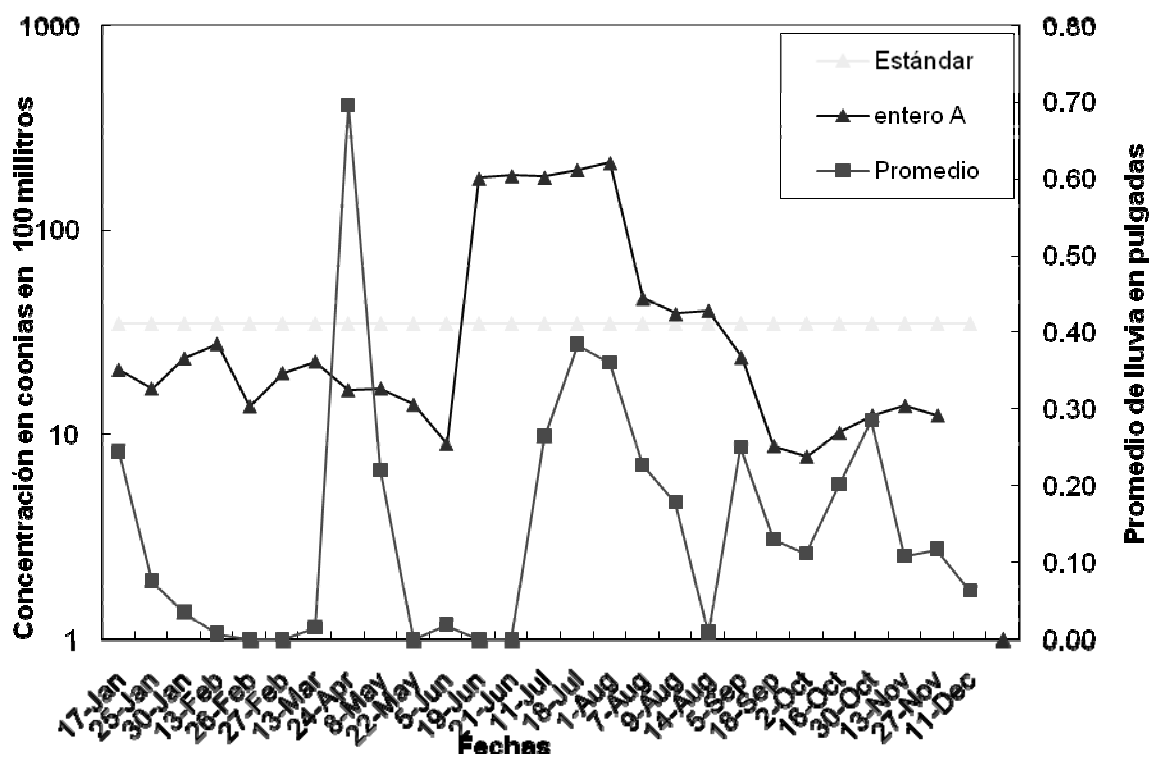


Figura 21. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2006. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

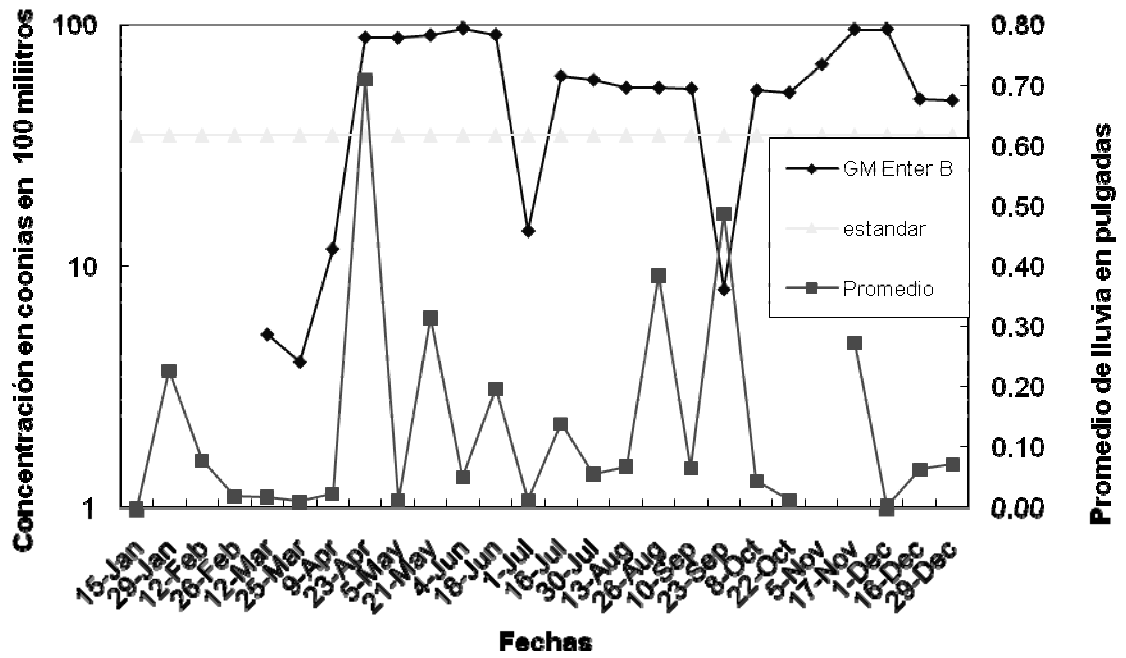


Figura 22. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2003. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

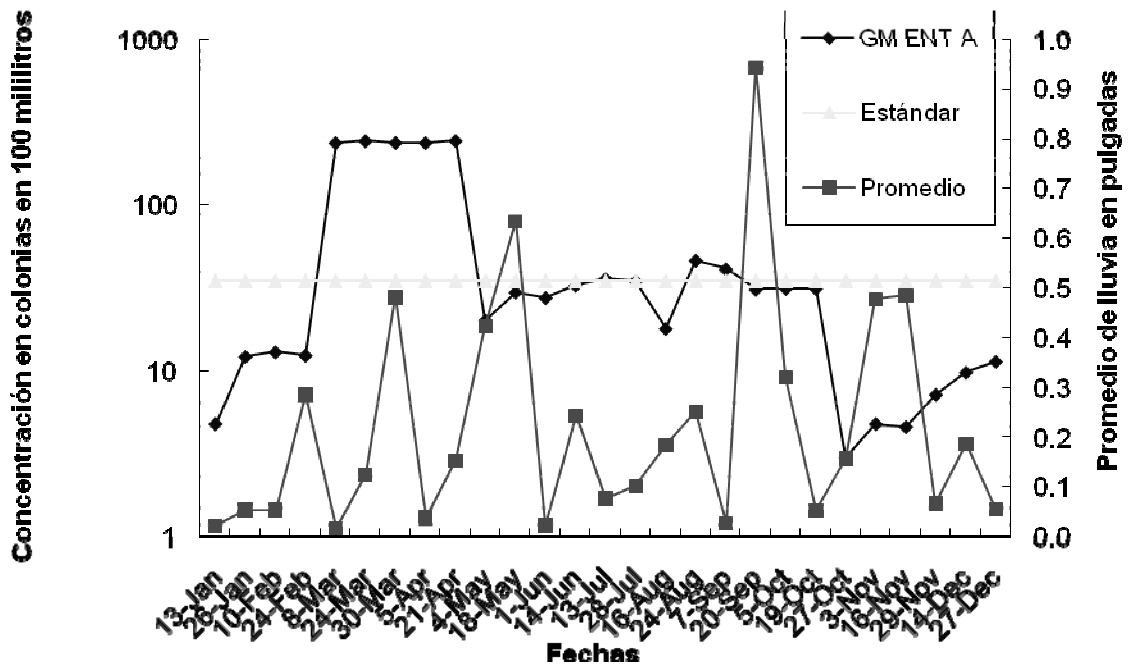


Figura 23. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2004. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

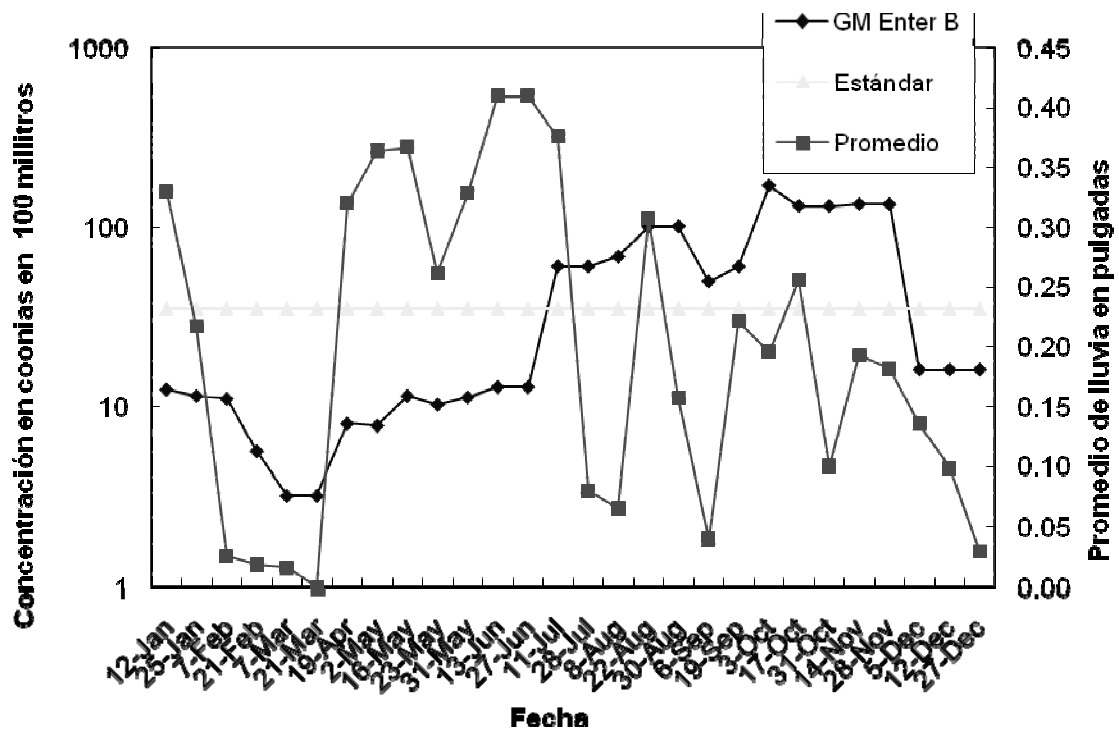


Figura 24. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2005. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

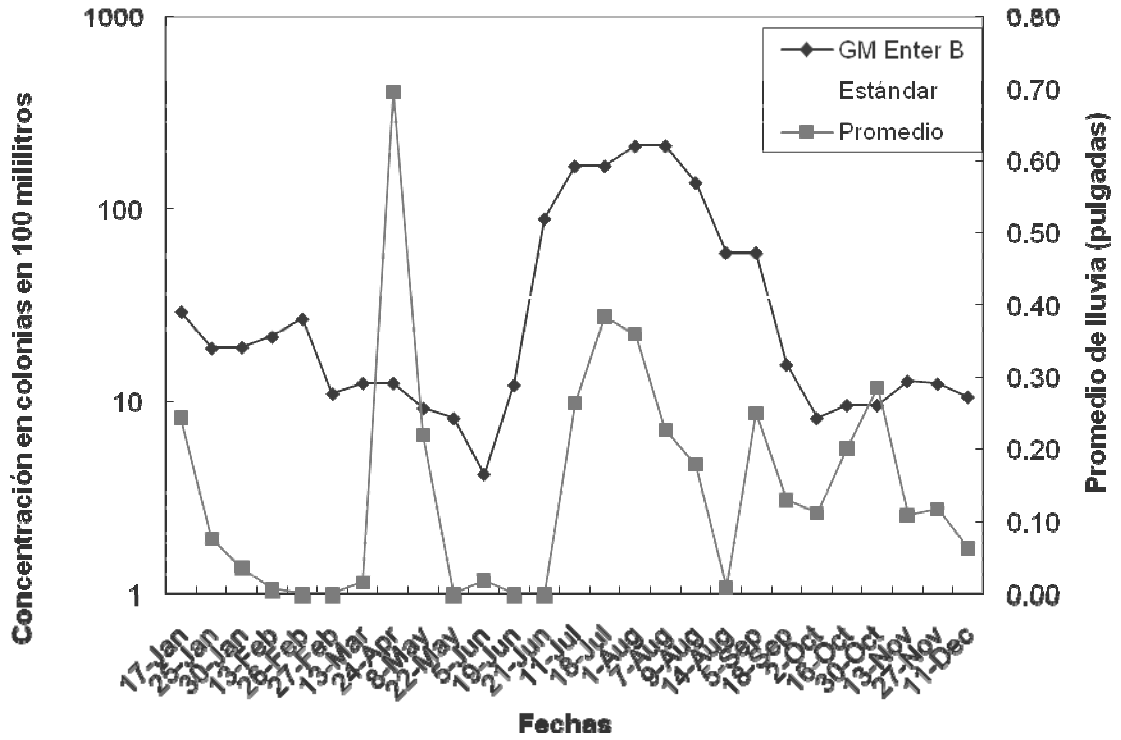


Figura 25. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de Escambrón, enero a diciembre del 2006. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

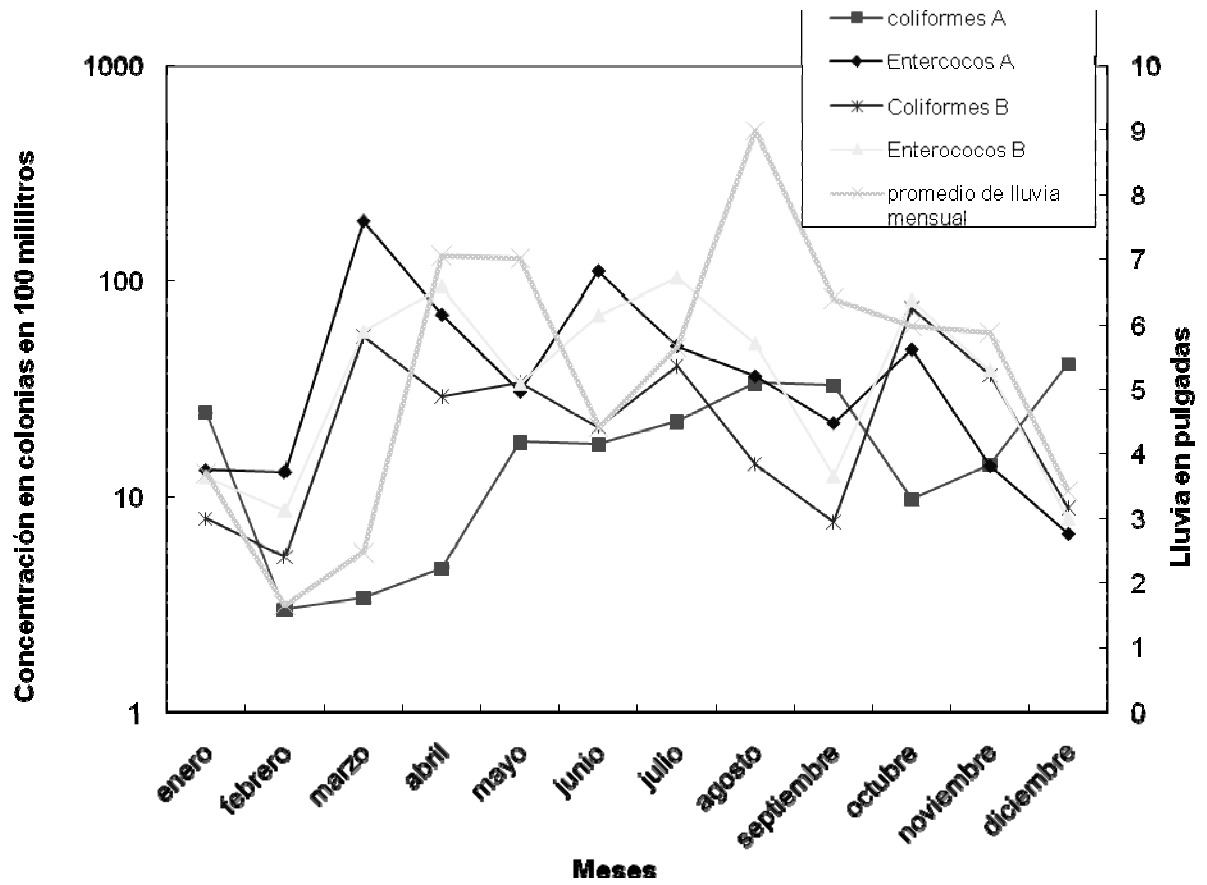


Figura 26. Promedio de concentraciones de bacterias por mes en la playa de Escambrón para los años 2003 al 2006.

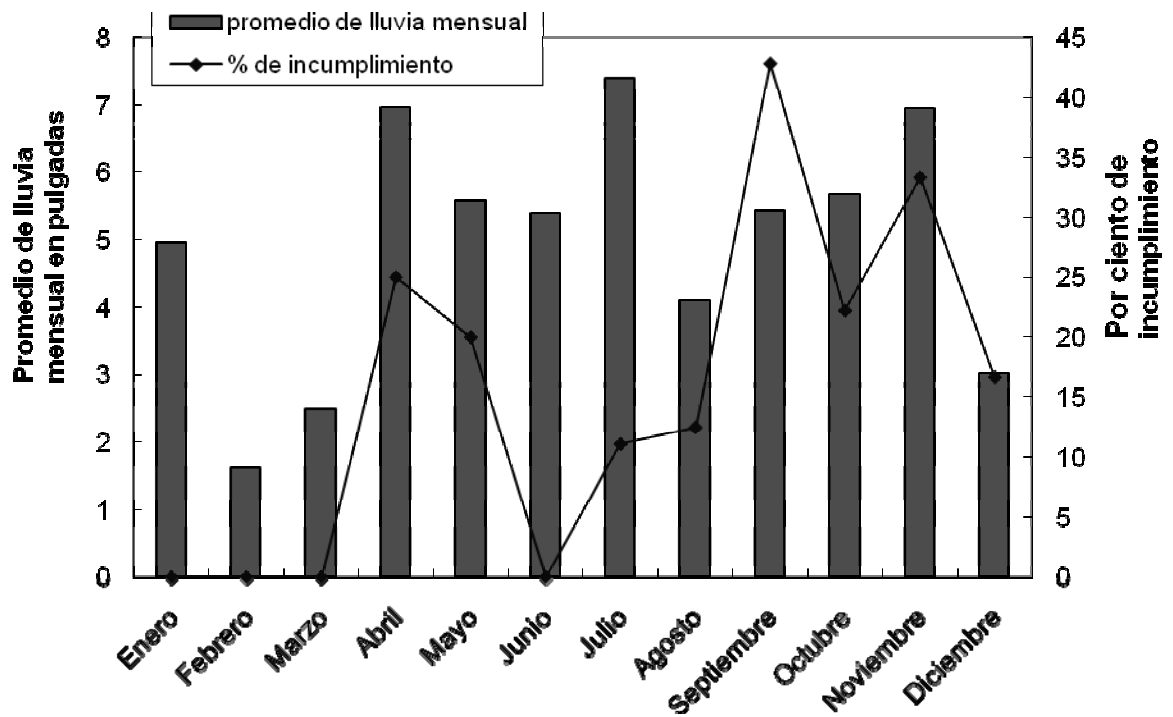


Figura 27. Promedios de lluvias vs. por ciento de incumplimientos de estándares bacteriológicos de calidad de agua para los años 2003-2006 en la playa de Punta Salinas.

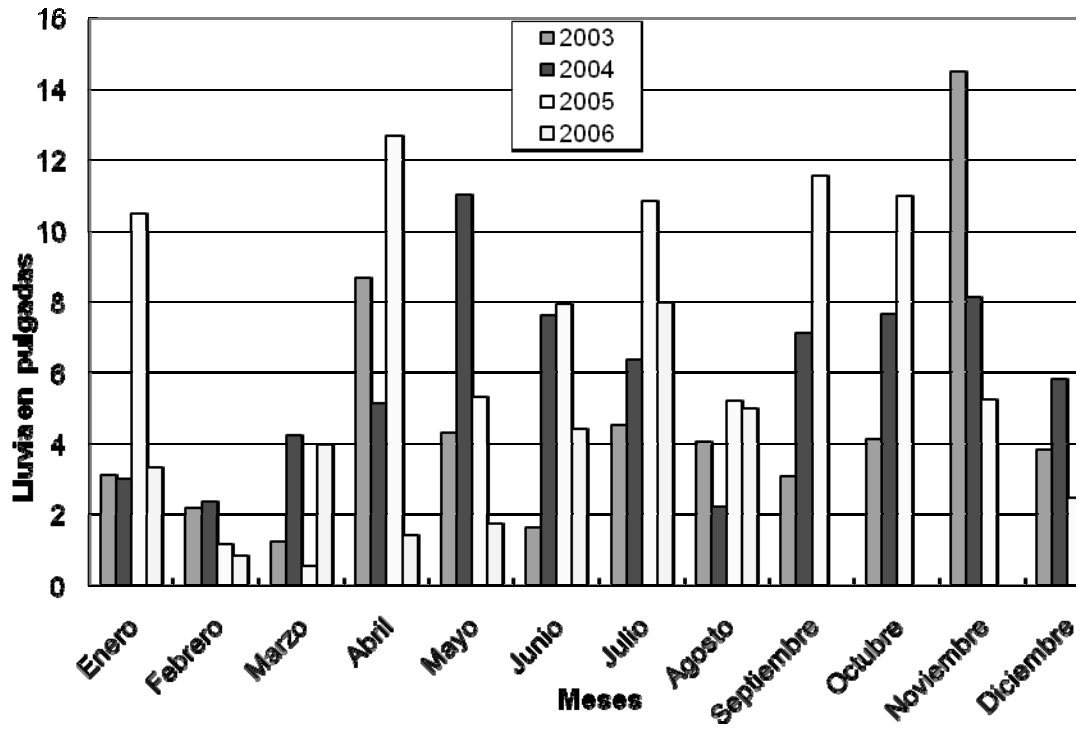


Figura 28. Promedios de lluvias mensuales por año para la playa de Punta Salinas.

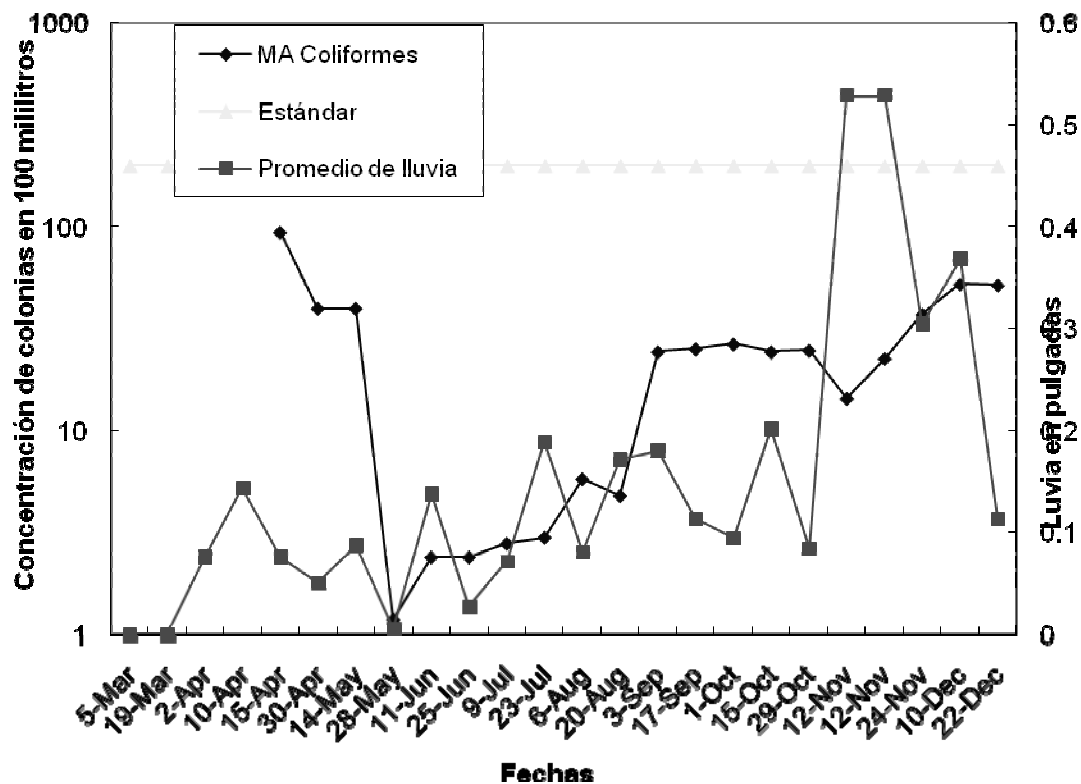


Figura 29. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2003. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

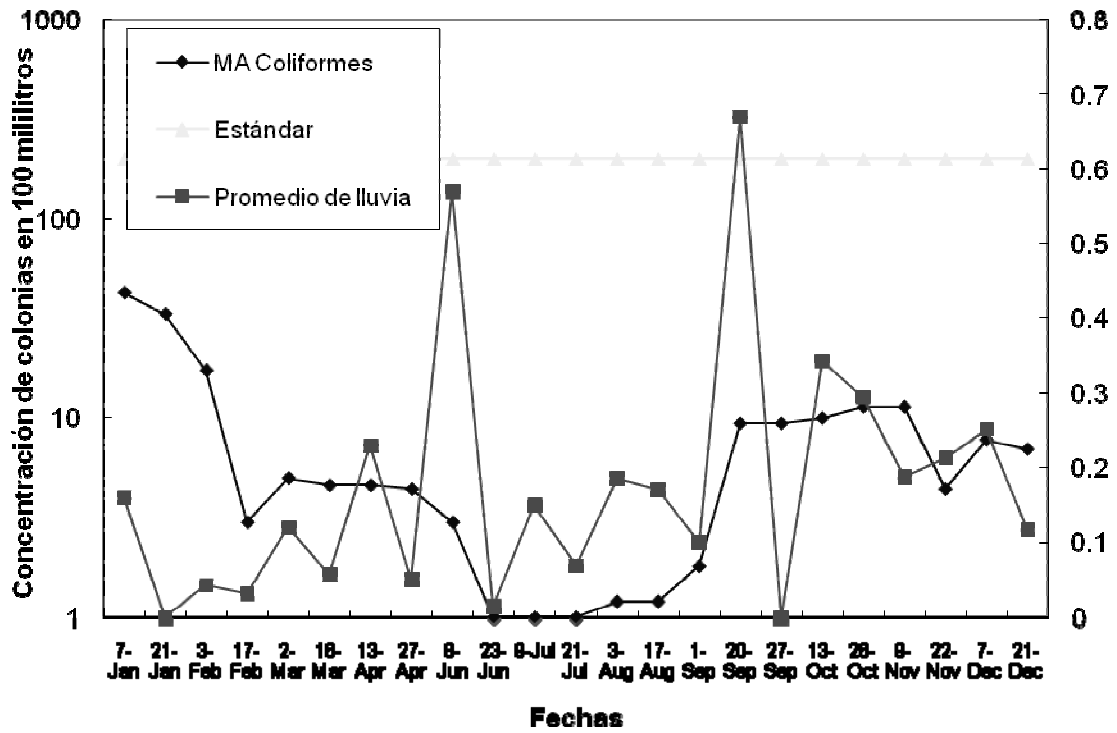


Figura 30. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2004. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

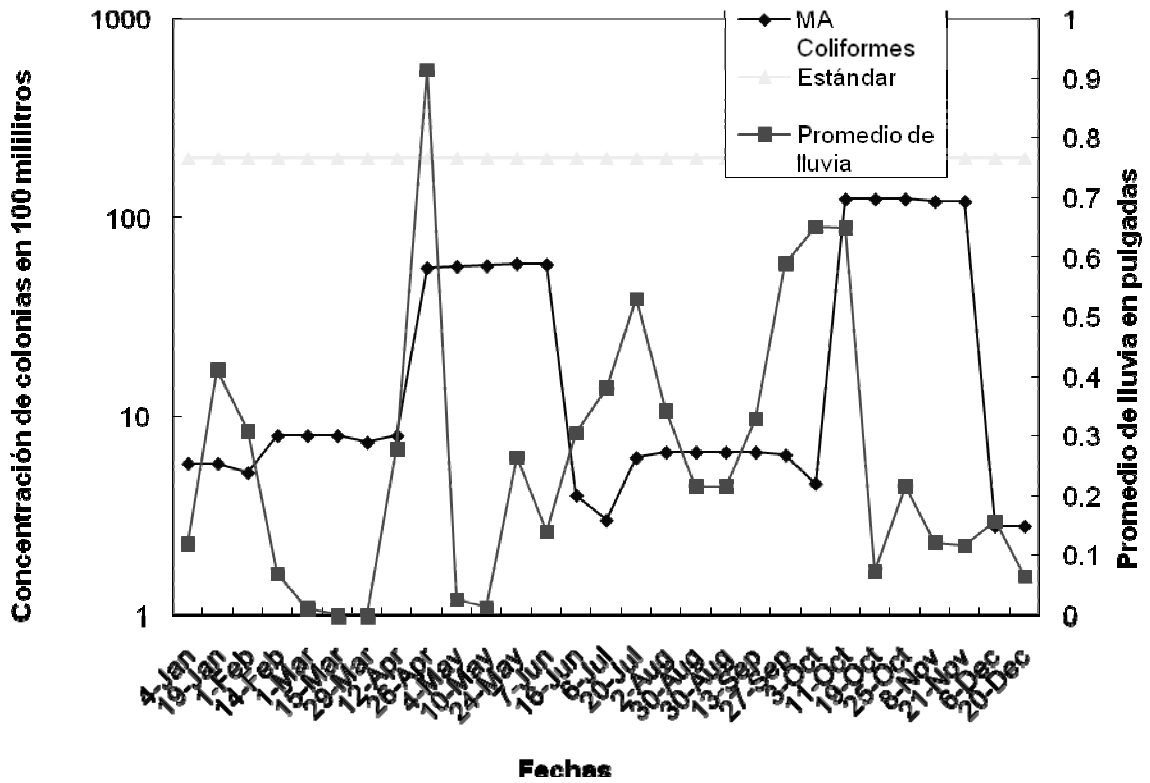


Figura 31. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2005. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

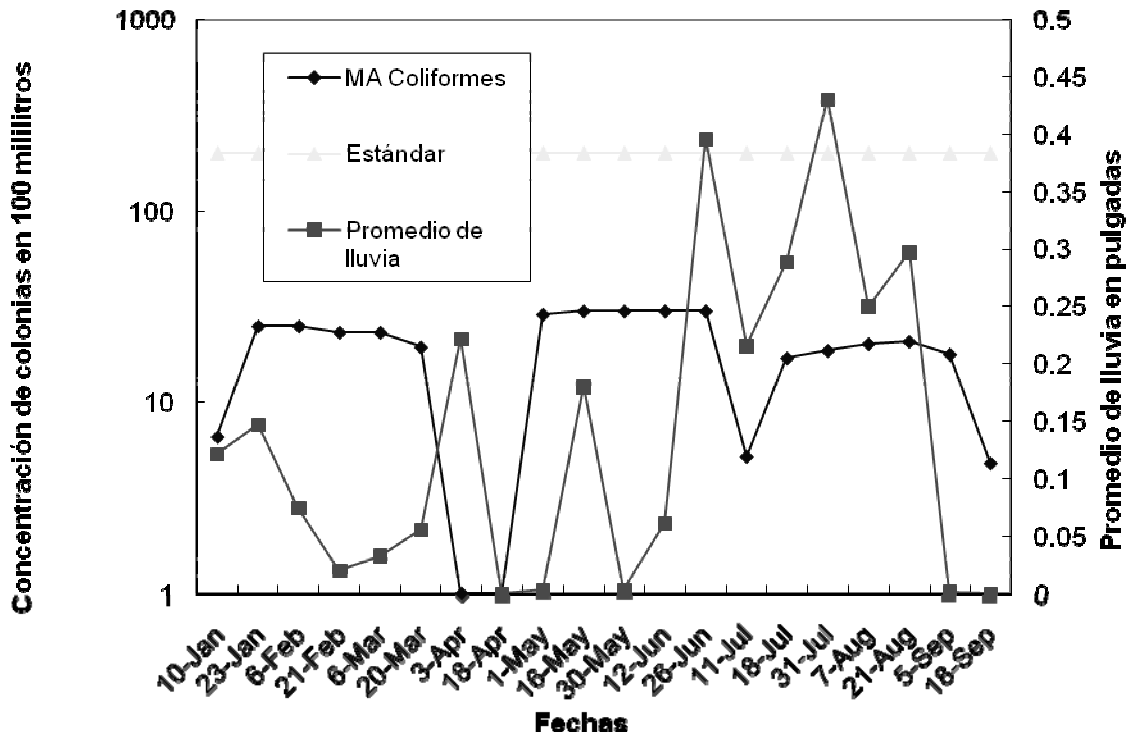


Figura 32. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2006. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

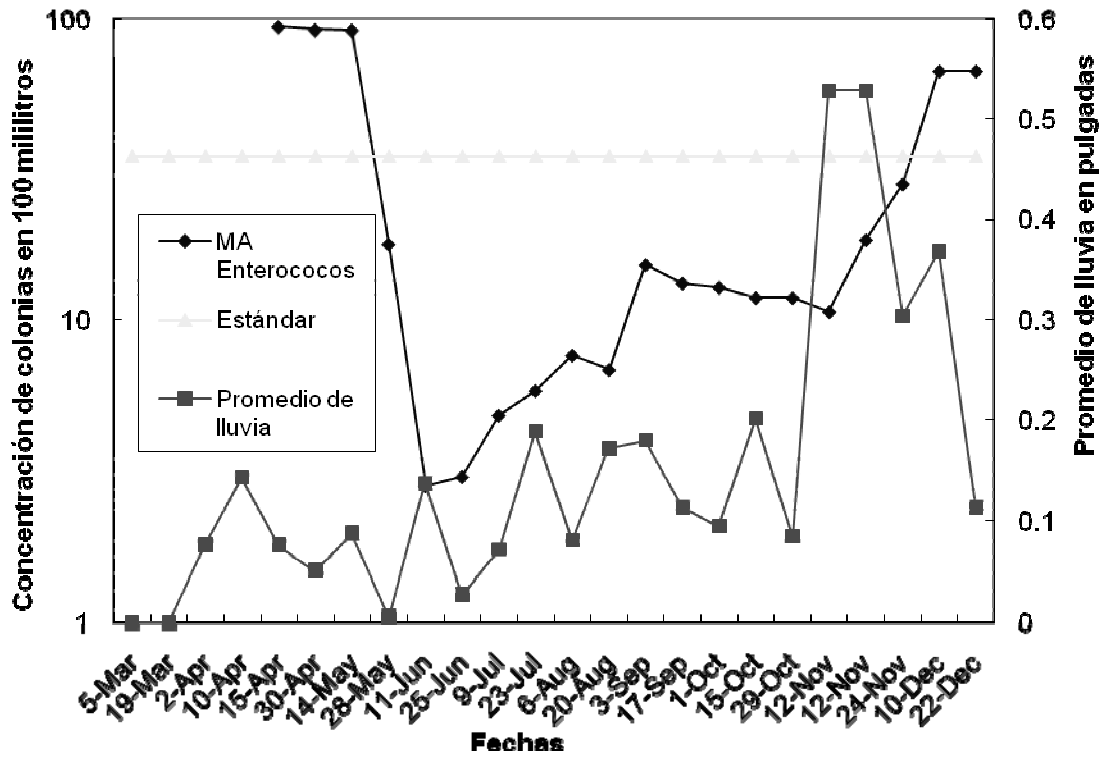


Figura 33. Promedio geométrico de concentración de enterococos en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2003. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

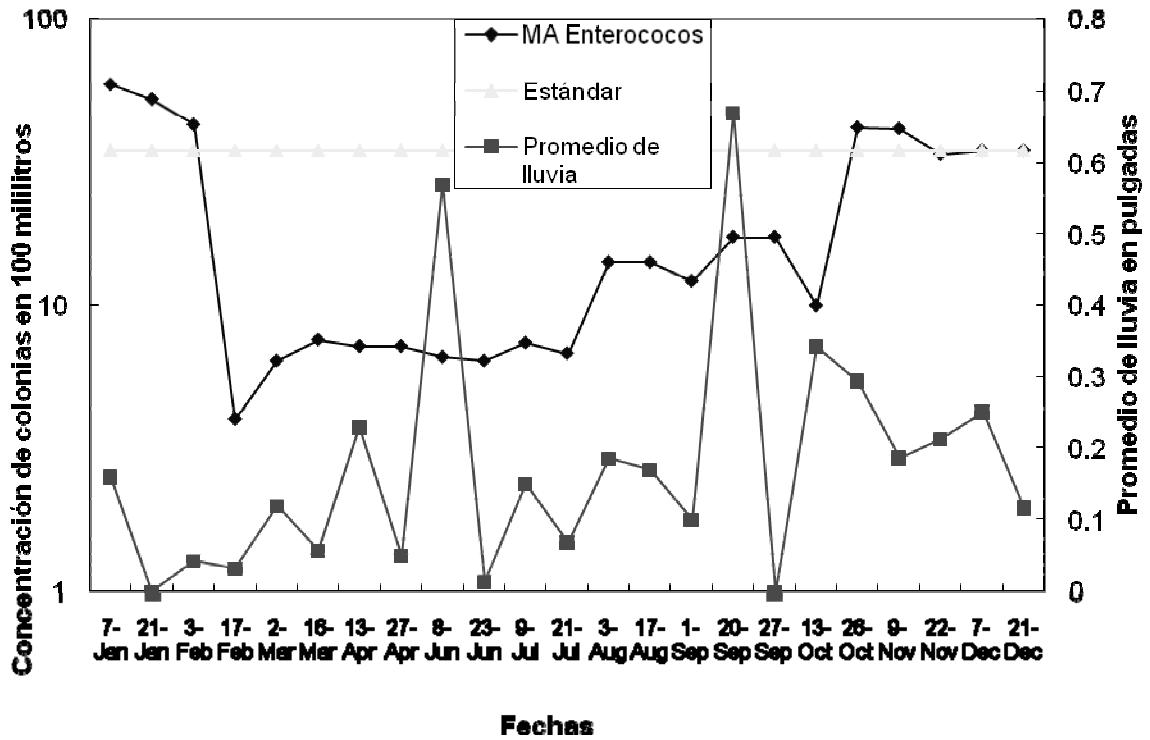


Figura 34. Promedio geométrico de concentración de enterococos en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2004. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

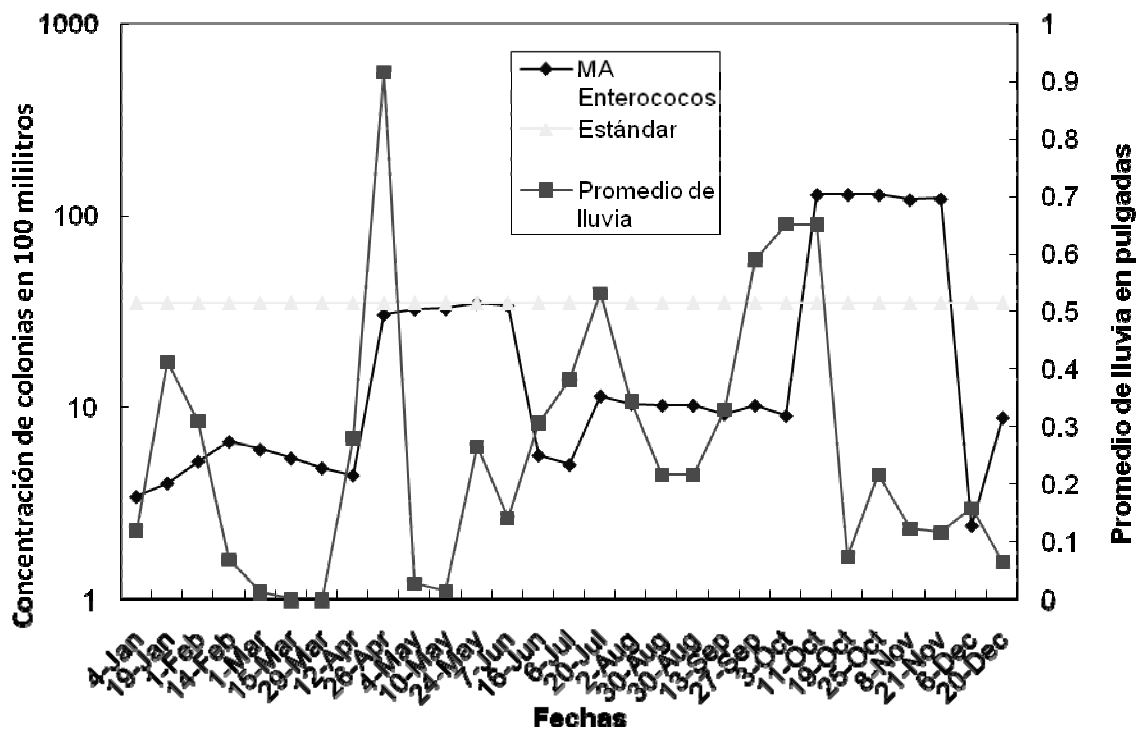


Figura 35. Promedio geométrico de concentración de enterococos en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2005. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

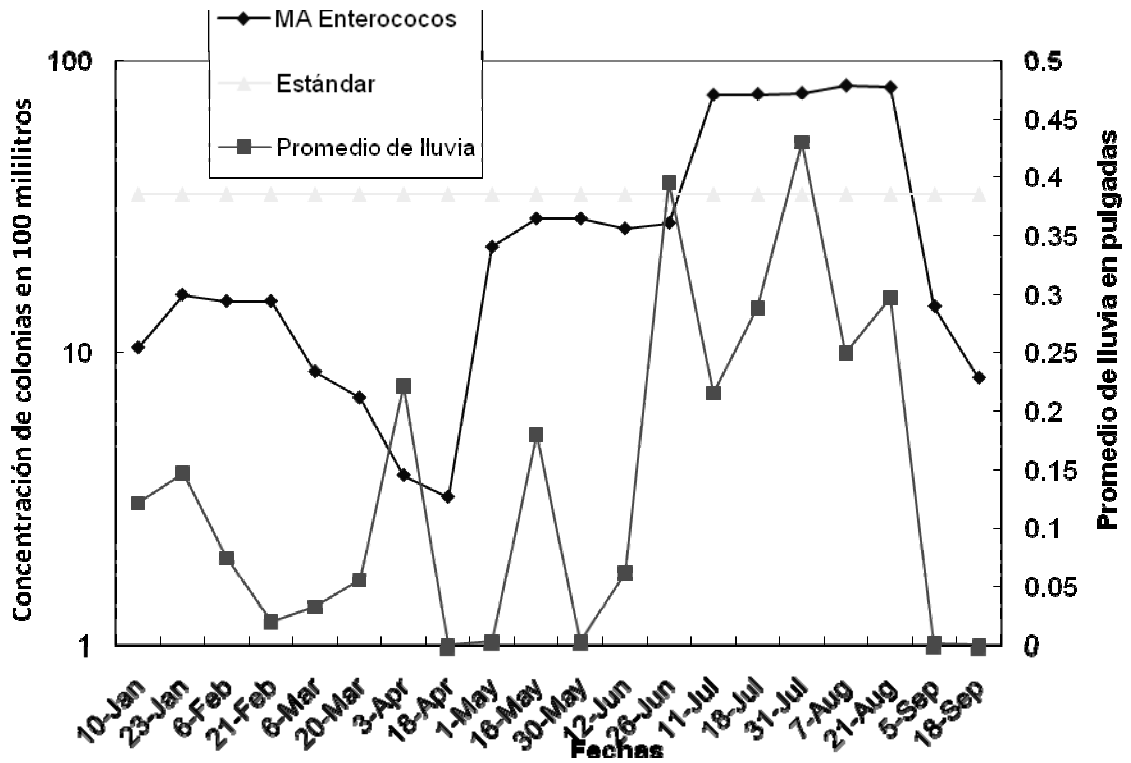


Figura 36. Promedio geométrico de concentración de enterococos en la playa de Punta Salinas, enero a diciembre del 2006. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

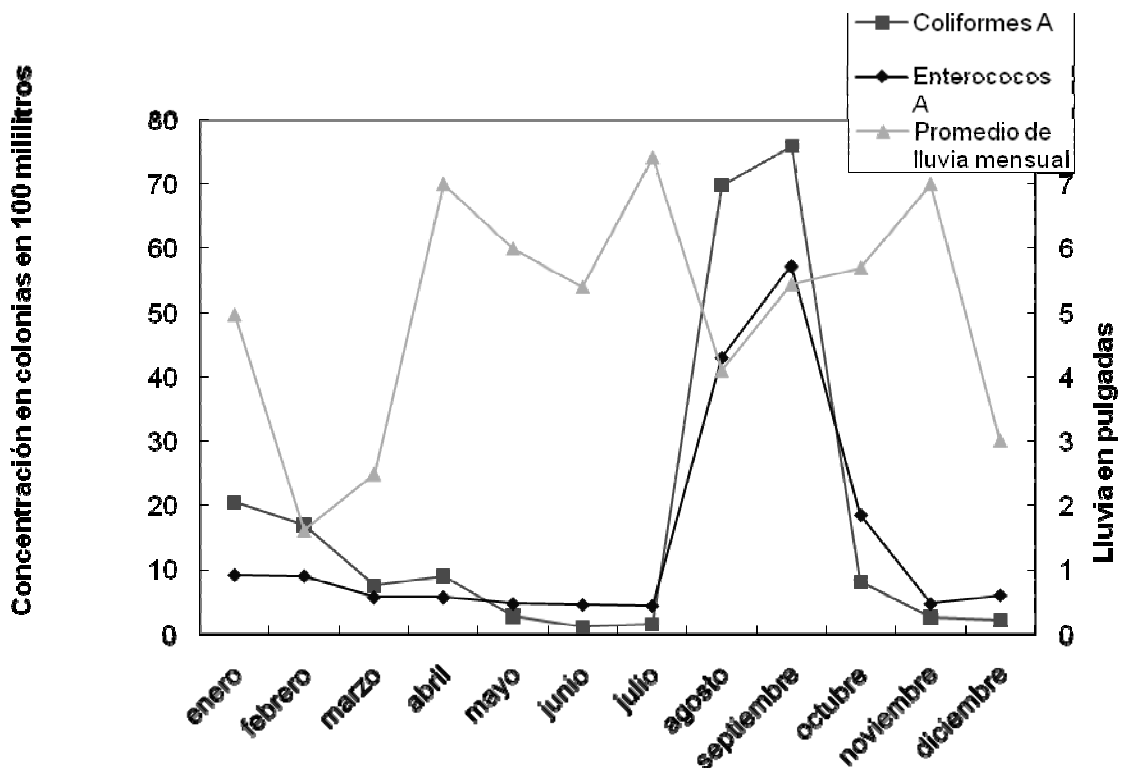


Figura 37. Promedio mensuales de concentraciones de bacterias y cantidad de lluvia en la playa de Punta Salinas para los años 2003 al 2006.

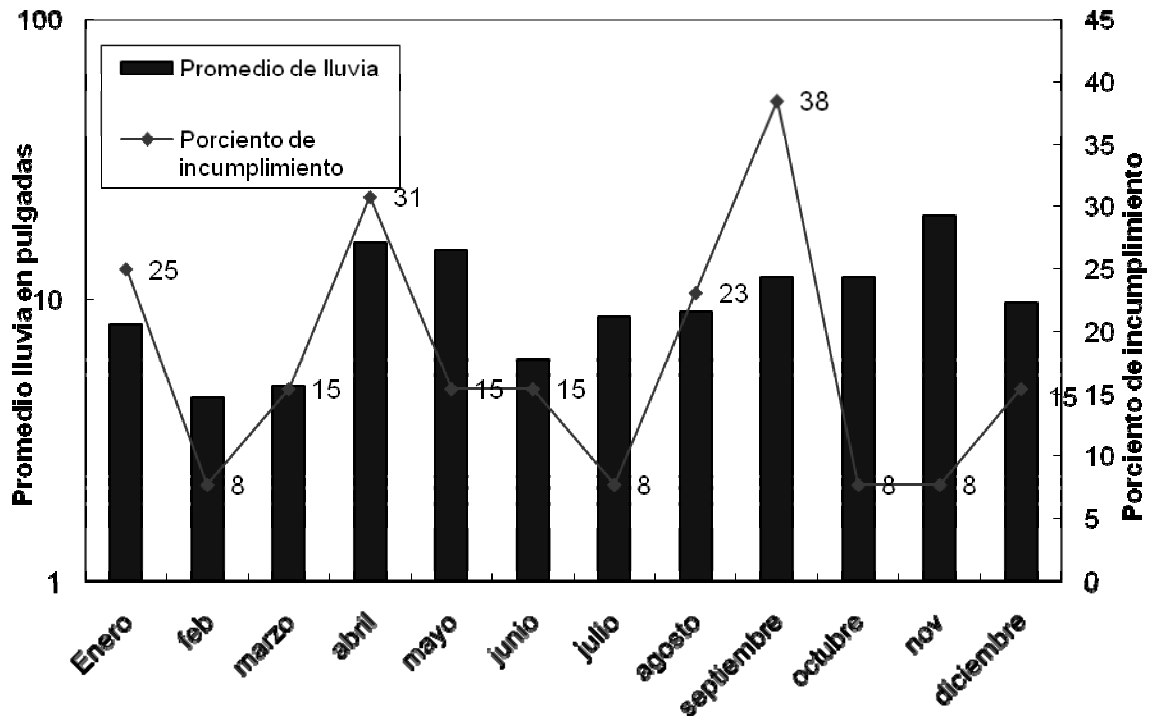


Figura 38. Promedios de lluvias vs. por cientos de incumplimientos de estándares bacteriológicos de calidad de agua para los años 2003-2006 en la playa de La Monserrate.

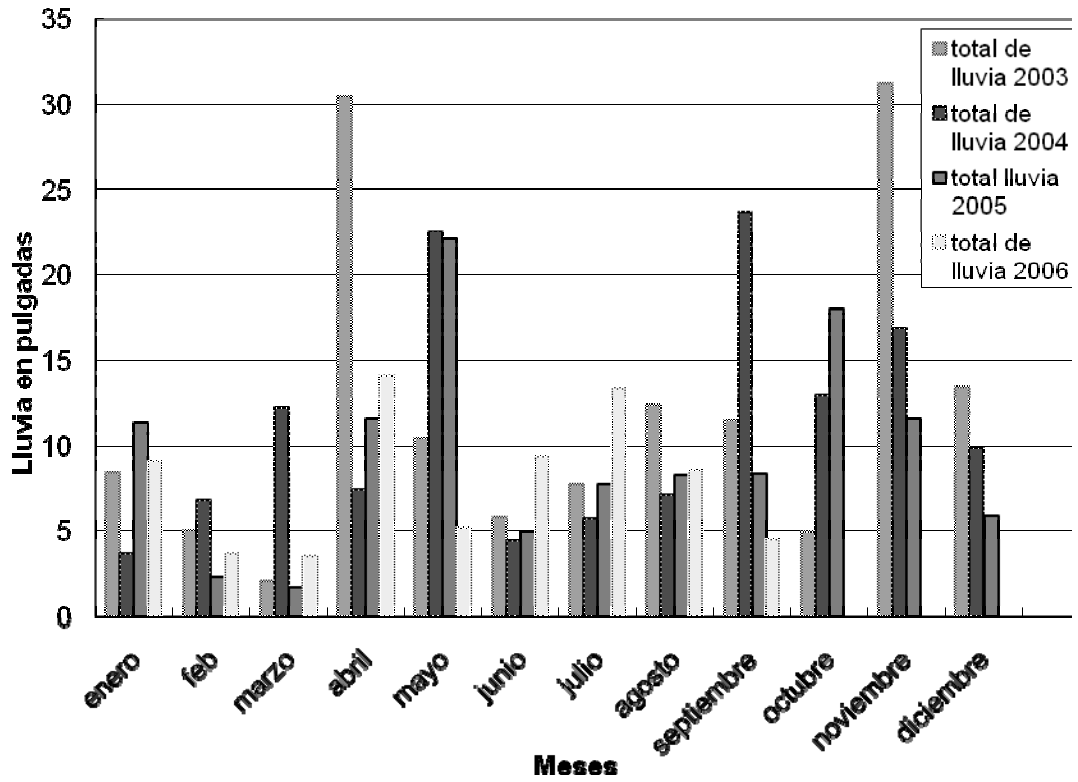


Figura 39. Precipitación total por mes en pulgadas para la playa La Monserrate en los años 2003-2006.

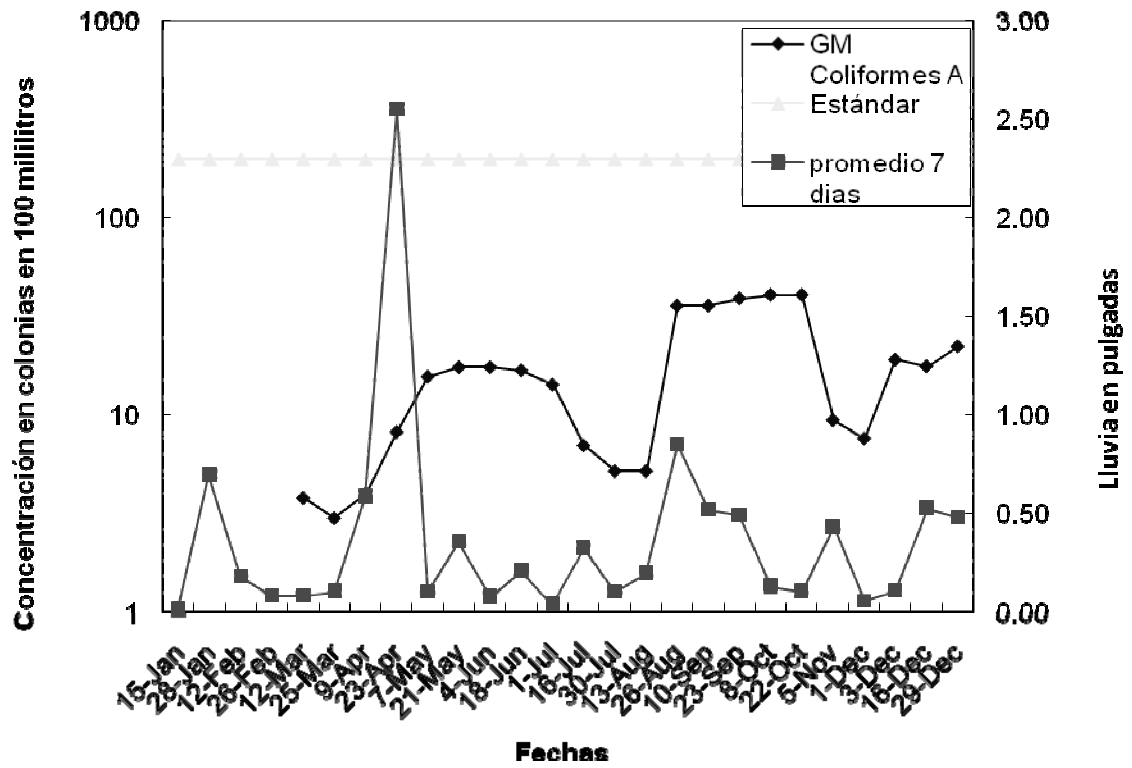


Figura 40. Promedio Geométrico de concentración de coliformes A en la playa de La Monserrate, meses de enero a diciembre del 2003. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

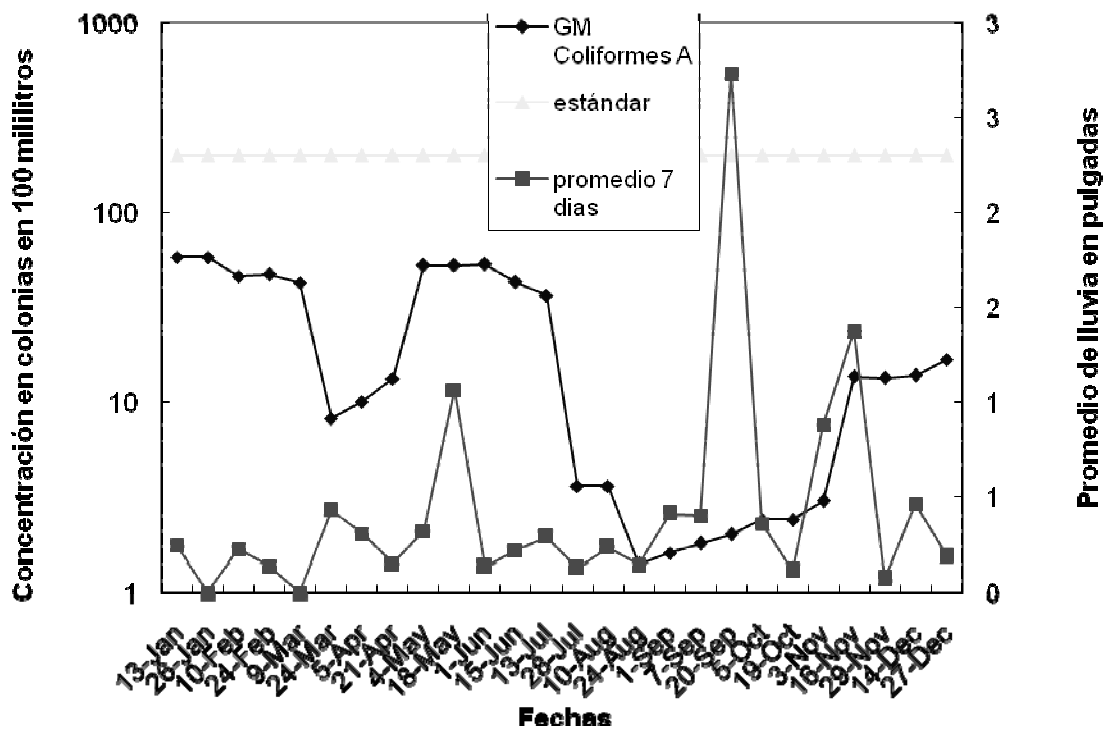


Figura 41. Promedio Geométrico de concentración de coliformes A en la playa de La Monserrate, meses de enero a diciembre del 2004. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

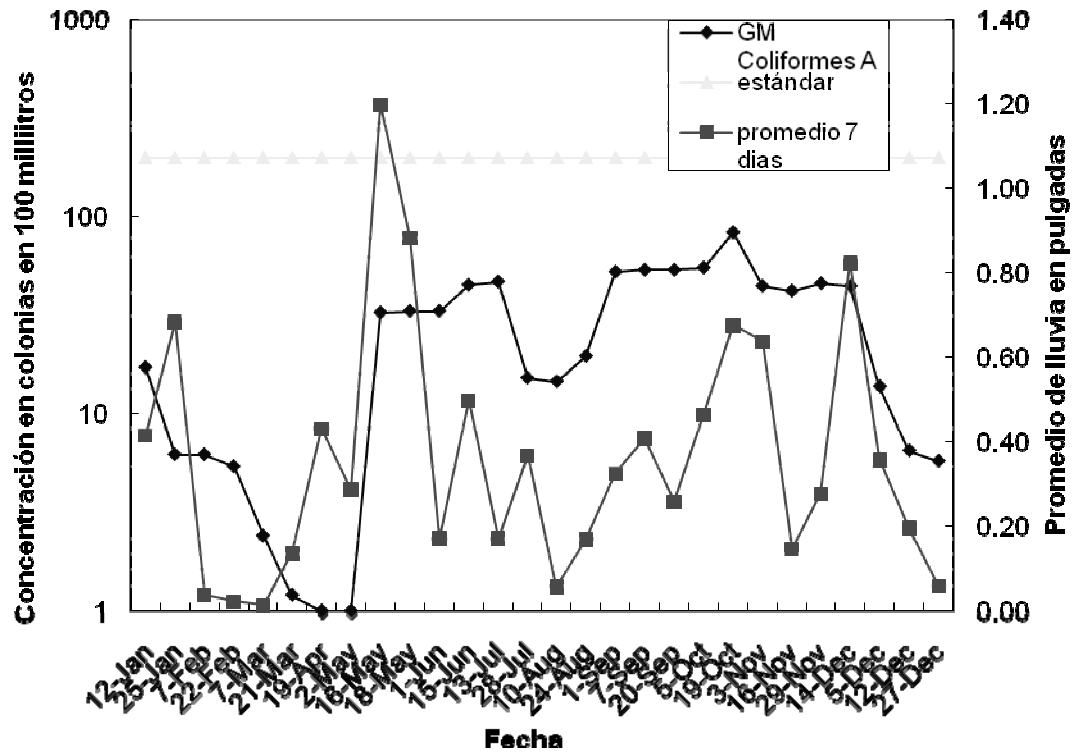


Figura 42. Promedio Geométrico de concentración de coliformes A en la playa de La Monserrate, meses de enero a diciembre del 2005. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

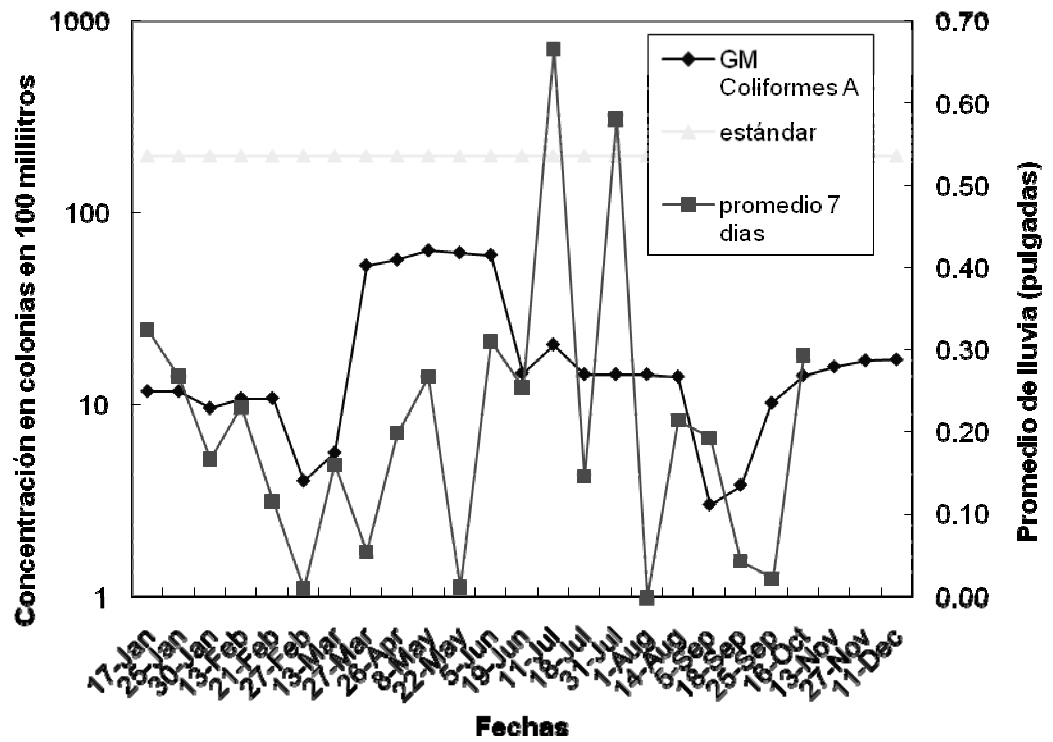


Figura 43. Promedio Geométrico de concentración de coliformes A en la playa de La Monserrate, meses de enero a diciembre del 2006. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

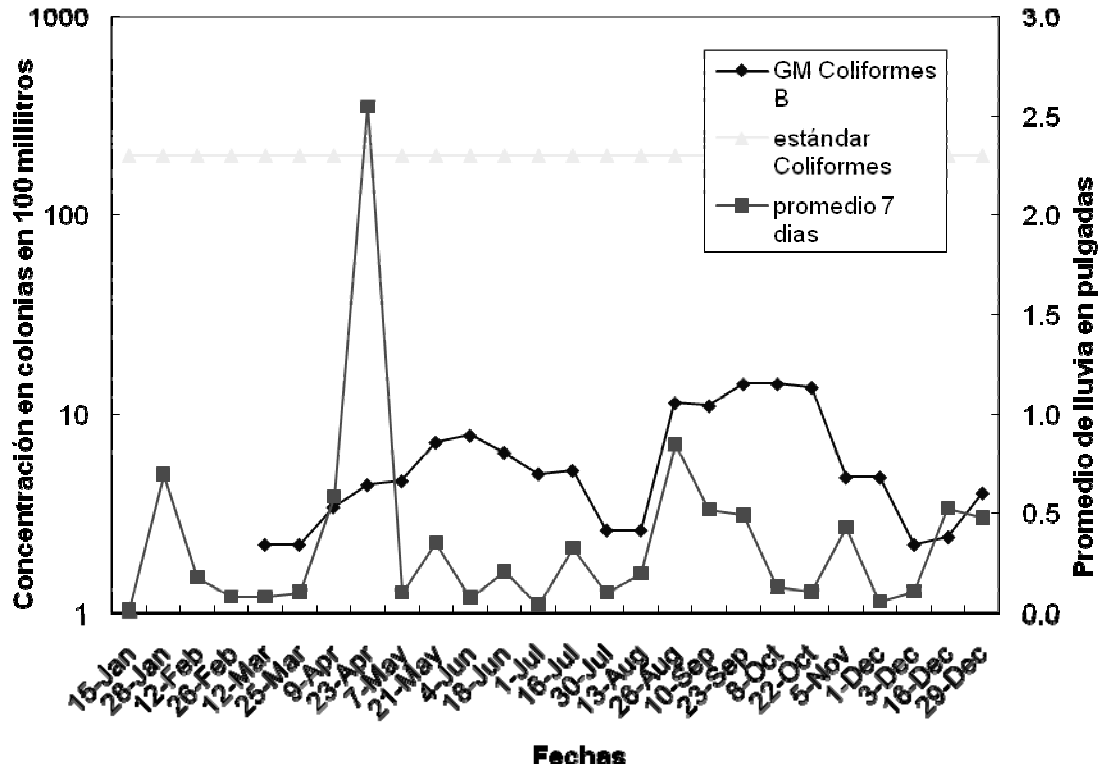


Figura 44. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2003. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

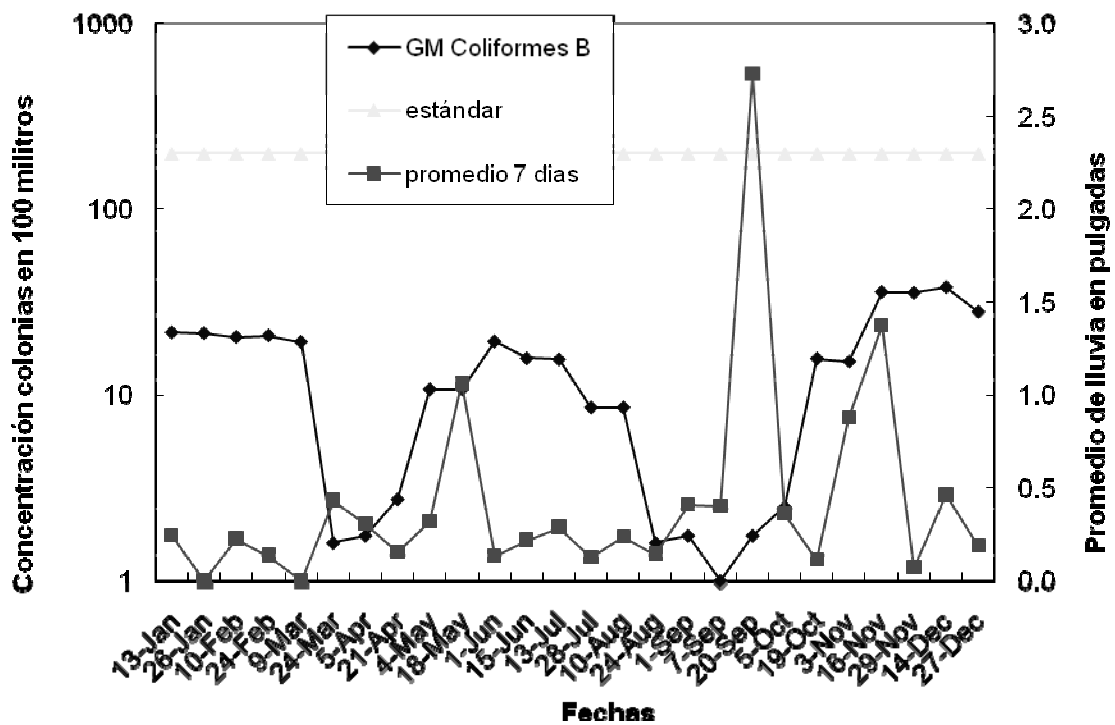


Figura 45. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de, enero a diciembre del 2004. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

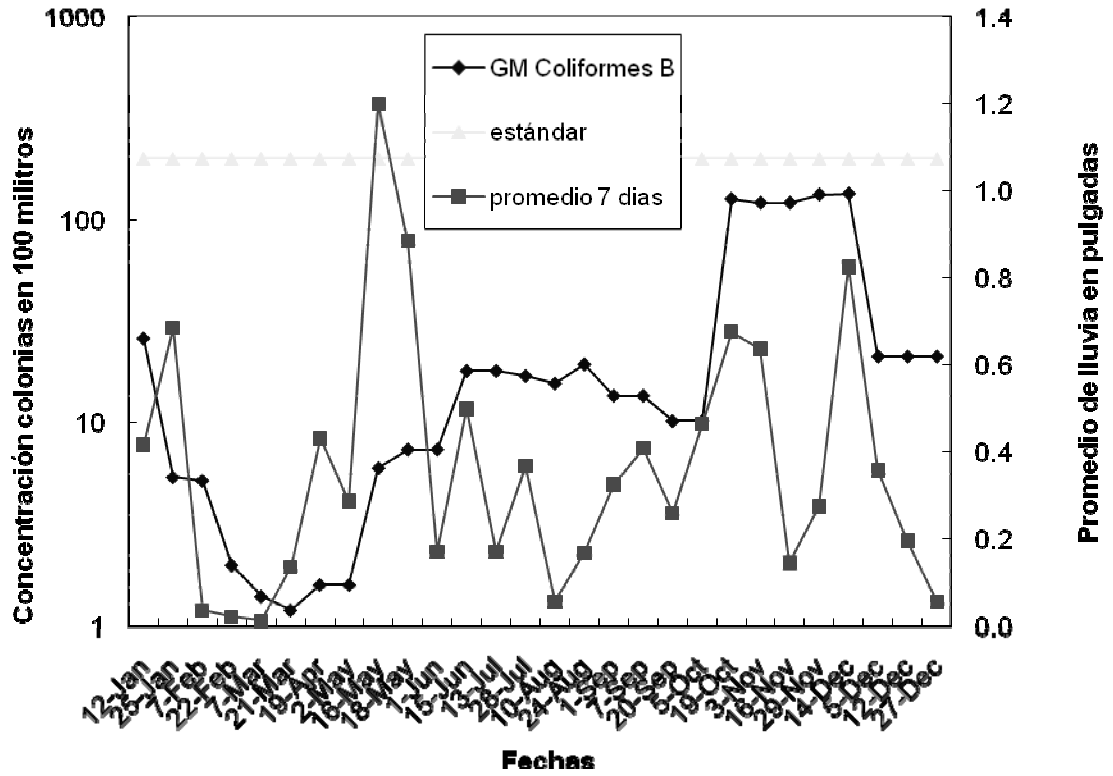


Figura 46. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2005. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

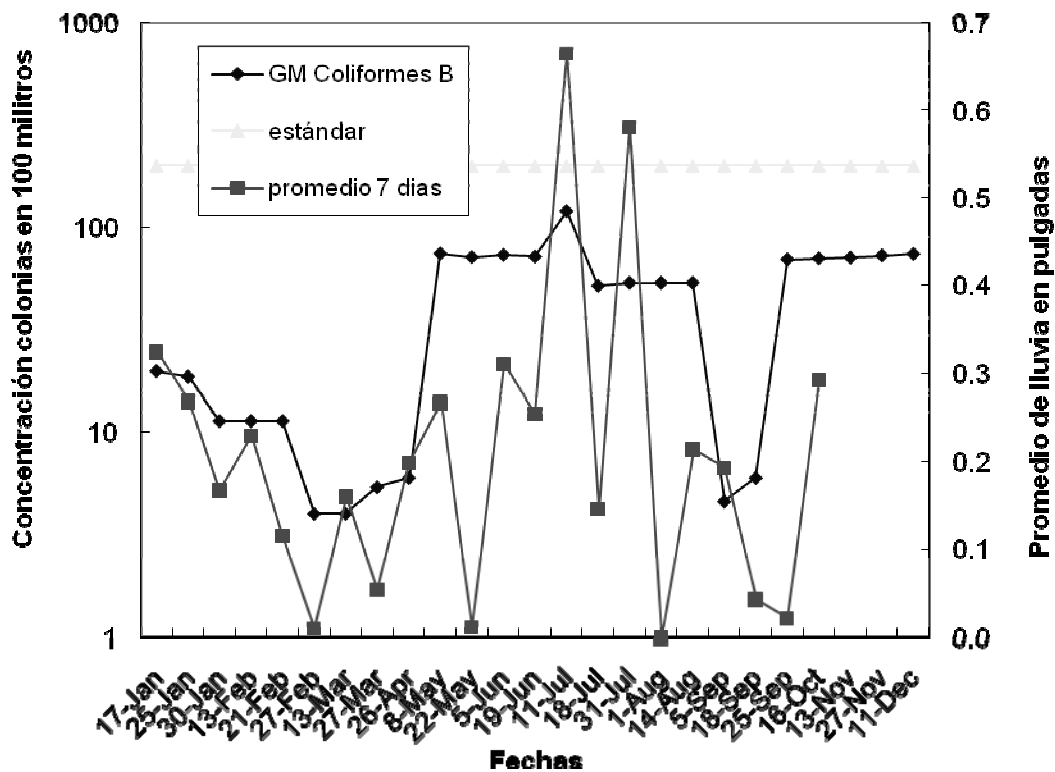


Figura 47. Promedio geométrico de concentración de coliformes fecales B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2006. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

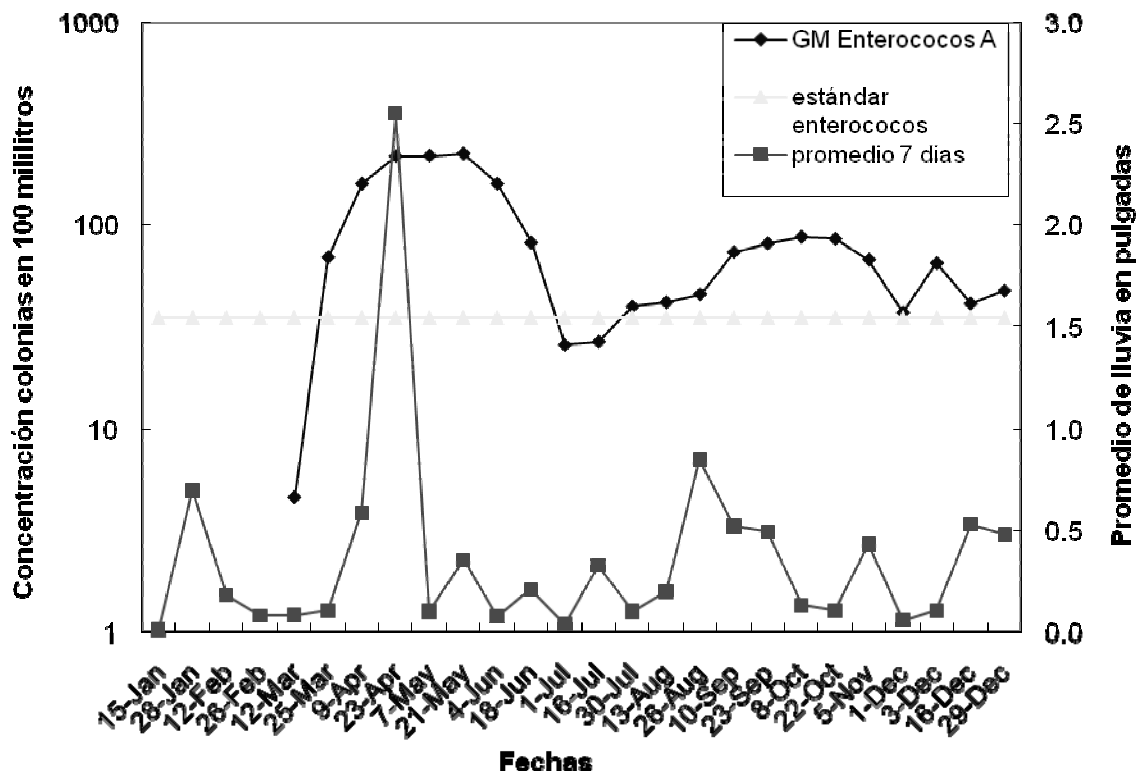


Figura 48. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2003. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

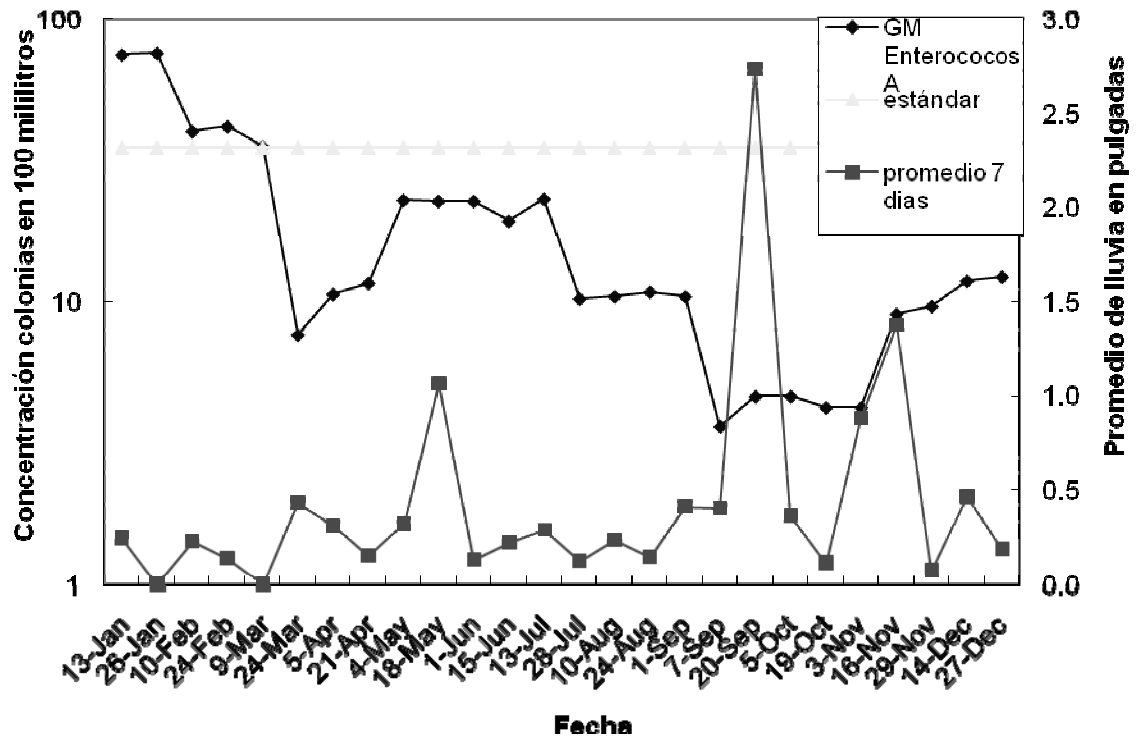


Figura 49. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2004. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

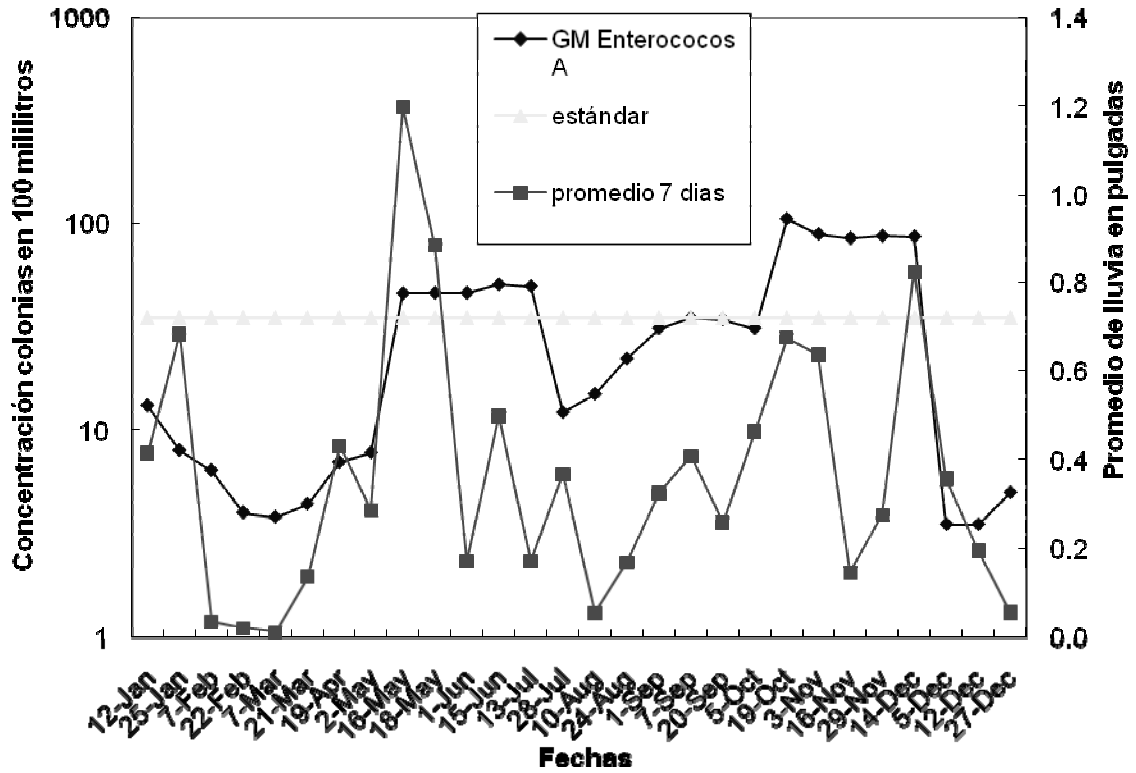


Figura 50. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2005. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

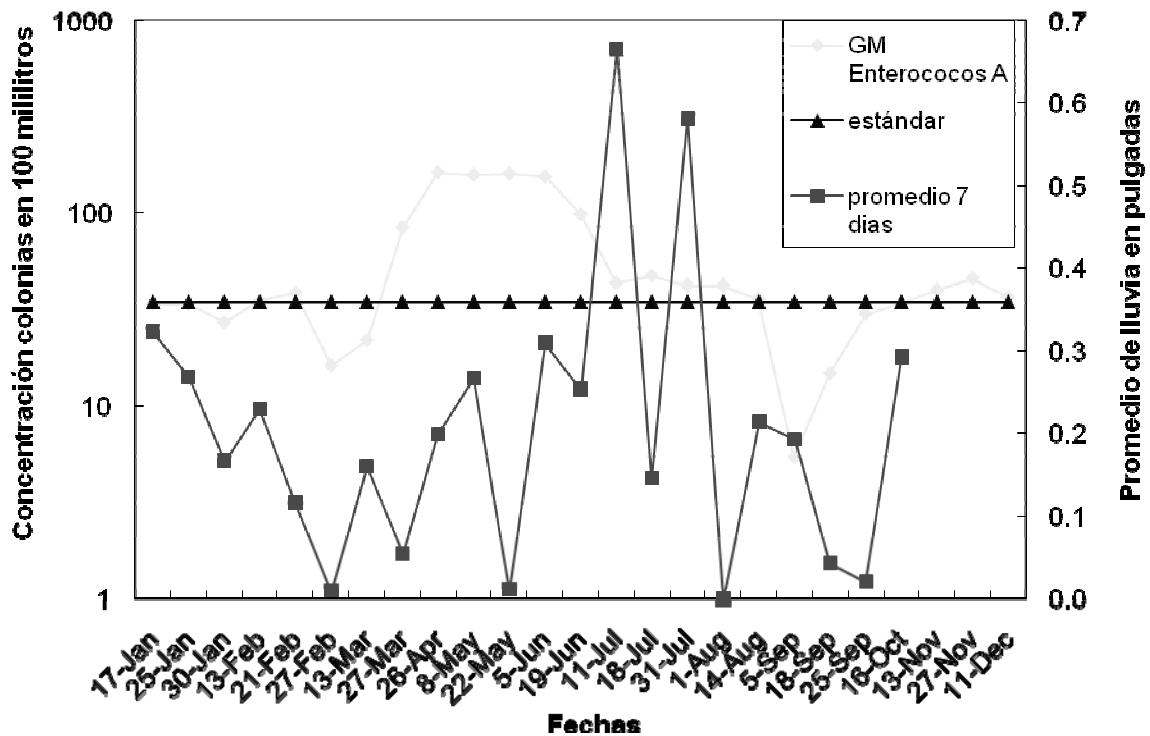


Figura 51. Promedio geométrico de concentración de enterococos A en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2006. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

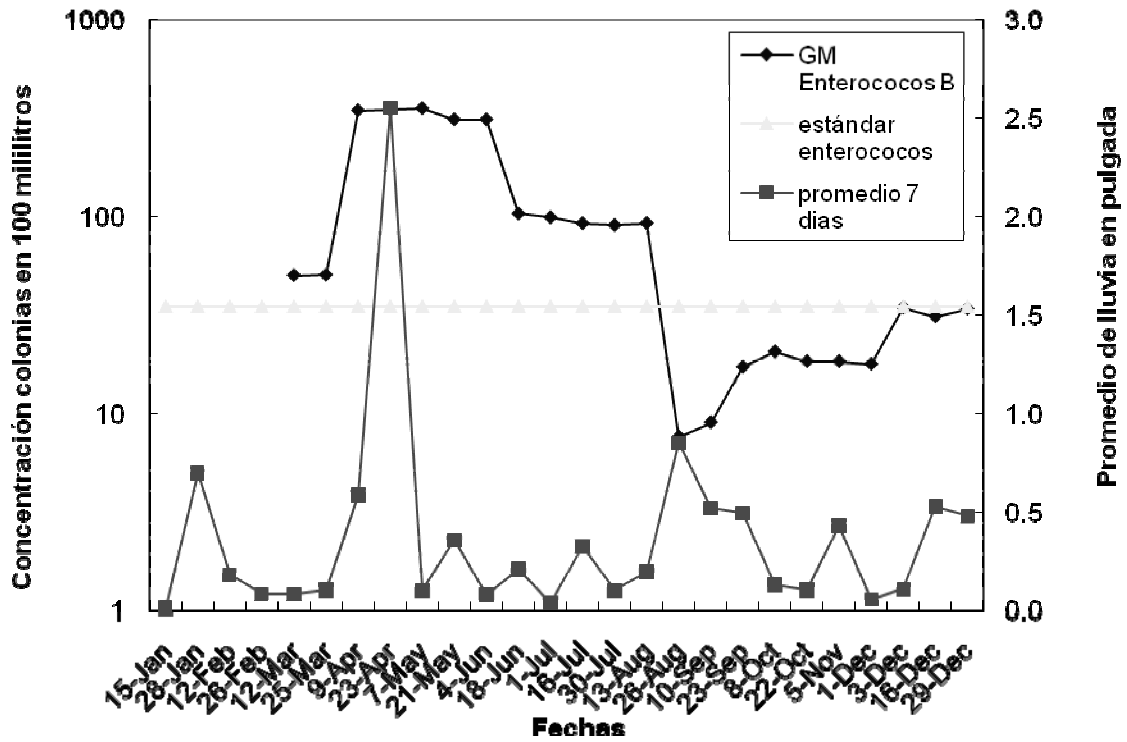


Figura 52. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2003. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

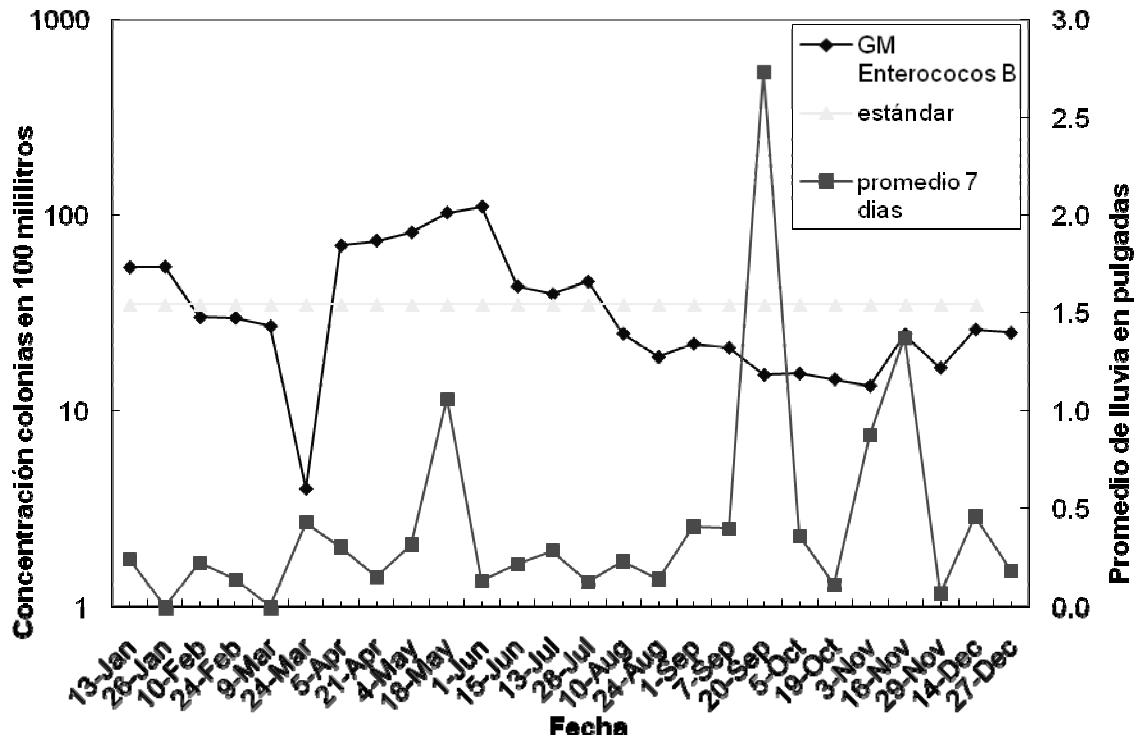


Figura 53. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2004. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

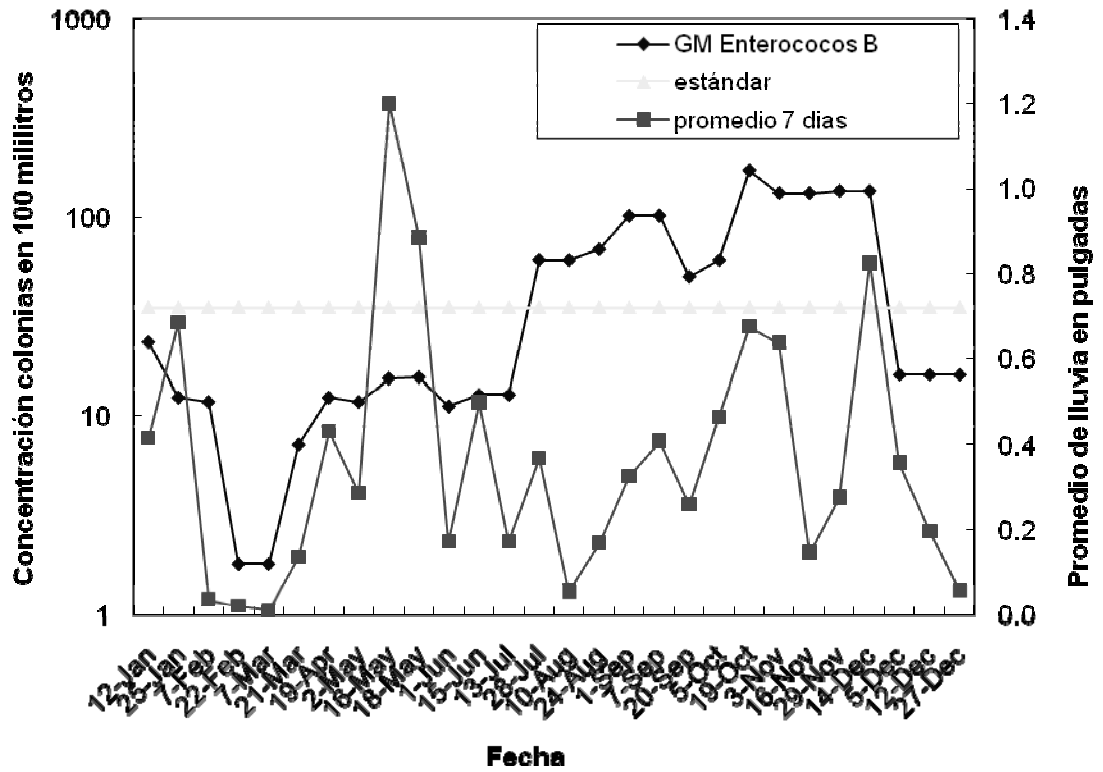


Figura 54. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2005. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

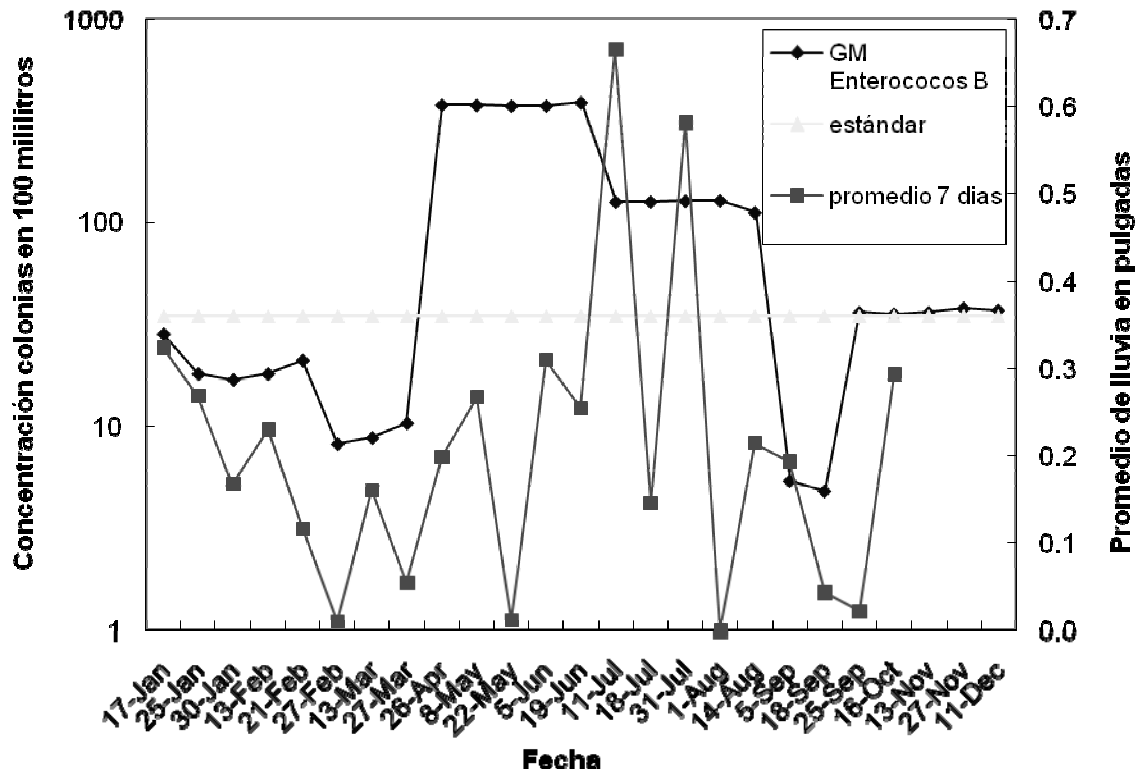


Figura 55. Promedio geométrico de concentración de enterococos B en la playa de La Monserrate, enero a diciembre del 2006. Nota: Las concentraciones están en escala logarítmica.

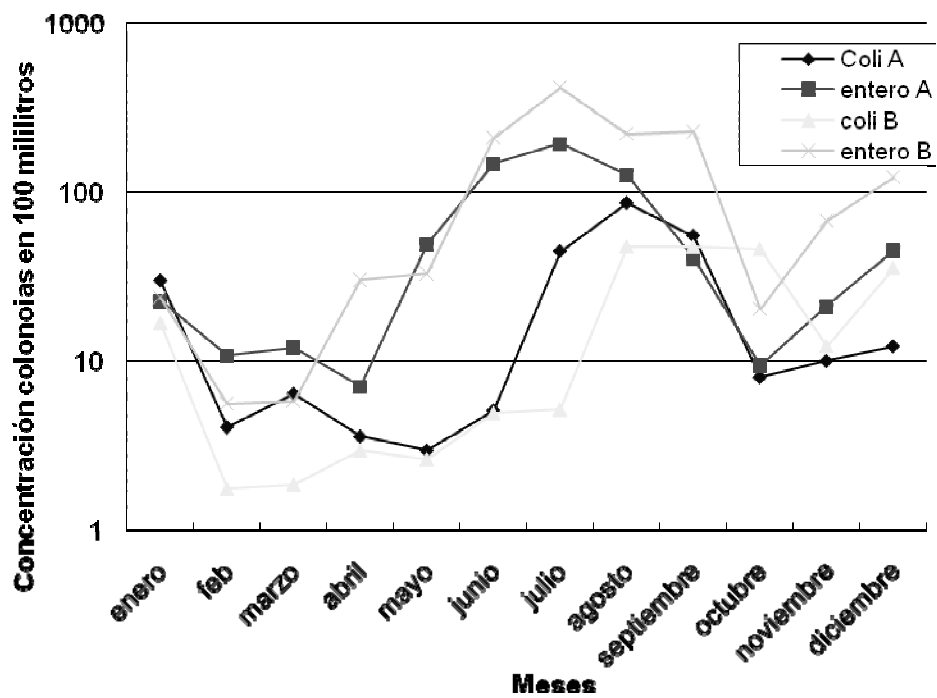


Figura 56. Promedio de concentraciones de bacterias por mes en la playa de La Monserrate para los años 2003 al 2006.

APÉNDICES



Apéndice 1. Desagüe del alcantarillado Pluvial en la playa de Escambrón



Apéndice 2. Ubicación de los servicios sanitario en la playa de Escambrón.



Apéndice 3. Foto aérea del Río Cocal en la playa de Punta Salinas.



Apéndice 4. Conexión subterránea del humedal en la playa La Monserrate.



Apéndice 5. Estación de Bombas Solimar



Apéndice 6. Estación de Bombas Fortuna.



Apéndice 7. Estación de Bombas del Balneario La Monserrate.



Apéndice 8. Desembocadura del caño en el área este del Balneario La Monserrate.