

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
BAJA CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA DE MAR
EN LA ZONA COSTERA FRONTERIZA MÉXICO-
ESTADOS UNIDOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

O C E A N Ó L O G O

PRESENTA

MARÍA ANGÉLICA GONZÁLEZ MACÍAS

ENSENADA, B.C., MARZO DE 2004.

RESÚMEN

El presente trabajo forma parte del programa binacional (México-Estados Unidos) de vigilancia microbiológica del agua costera de la Cuenca de las Californias dentro del Southern California Bight 1998 Regional Monitoring Program, en donde participaron 22 laboratorios durante el verano 1998 e invierno 1999 para implementar y aplicar metodologías microbiológicas para lograr que los resultados obtenidos en el estudio de la Cuenca del Sur de las Californias fueran comparables. El objetivo de esta investigación fue evaluar la contaminación bacteriológica de la zona costera comprendida entre Tijuana y Ensenada, así como determinar el porcentaje de línea de costa que excedió los límites diarios y mensuales de los indicadores bacteriológicos establecidos para agua de uso recreativo. Las muestras se colectaron en 29 sitios (19 playas y 10 descargas) desde la frontera con Estados Unidos a Punta Banda, Baja California. El período de muestreo fue de cinco semanas para verano e invierno. Los sitios de muestreo se seleccionaron mediante un diseño estratificado y al azar. Como indicadores de contaminación se utilizaron a las bacterias coliformes totales, coliformes fecales y enterococos. Para el caso de coliformes totales y fecales se usaron métodos estándares, mientras que para enterococos se utilizó el método rápido Enterolert (IDEXX). En general los resultados obtenidos no mostraron diferencias entre los dos períodos de muestreo, y en las estaciones donde hubo diferencia no se observó una tendencia aparente con el período de muestreo. En algunas estaciones (3390,3392) los valores fueron mayores en verano y en otras (3361,3398) se presentaron en invierno. En comparación con las descargas, las playas arenosas excedieron los estándares de calidad en un menor porcentaje, siendo el 25.3% en verano y del 17% en invierno. Sin embargo, son más altos que los encontrados en las playas de California, Estados Unidos y se debe a que algunas playas arenosas 3361 (Real del Mar), 3362 (San Antonio del Mar), 3383(Conalep) y 3384 (Ciprés) se ven influenciadas por descargas de aguas residuales. En las descargas el porcentaje de LCMD que excedió los límites de bacterias indicadoras fue menor en verano (32.7%) que en invierno (50%) debido a que se incluyeron a los enterococos. El estudio evidenció que los sitios con descargas de aguas residuales fueron los de calidad mas baja y no cumplieron con los criterios bacteriológicos de calidad de agua para usos recreativos. El comportamiento de las bacterias indicadoras en el estudio y de mayor a menor fue: coliforme fecal > coliforme total: coliforme fecal > coliformes totales. Aunque en invierno los enterococos se situaron como los primeros.

**CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA DE
MAR EN LA ZONA COSTERA FRONTERIZA
MÉXICO-ESTADOS UNIDOS.**

**TESIS
QUE PRESENTA:
María Angélica González Macías**

Aprobada por:


M.C. María Victoria Orozco Borbón
DIRECTOR DE TESIS


Dr. Efraín Abraham Gutiérrez Galindo
SINODAL PROPIETARIO


Oc. Bernardo Primitivo Flores Báez
SINODAL PROPIETARIO

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de investigaciones Oceanológicas (IIO), por todo el apoyo y por permitir la realización de éste trabajo.

A la Facultad de Ciencias Marinas por haberme permitido formar parte de ella durante cinco largos años.

A mi director de tesis, M.C. María Victoria Orozco Borbón, por haberme aceptado como su tesista, por su ayuda en todo momento, por la dedicación, paciencia y esmero para que éste trabajo se finalizara.

A mis sinodales, Dr. Efraín A. Gutiérrez Galindo y Oceanólogo Bernardo Primitivo Flores Báez, por haber aceptado ser mis sinodales, por sus sugerencias y recomendaciones para enriquecer el presente trabajo.

A los profesores de la Facultad de Ciencias Marinas, en especial al Profesor Adán Castillo, Prof. Gilberto Flores, Prof. Consuelo Valle, Prof. Jesús Serrano por haberme ayudado y haber arraigado en mí el amor a ésta carrera, la Oceanología.

A mis compañeros de la XXXVII generación, a todos y cada uno de ellos, en especial a Daniel, Andrés, Pepe, Claudia Avendaño, Nancy, Felipe, Demetrio, Erika, Bily, Yadira, Miriam, Chuy (sin importar el orden de aparición).

Al M.C. Albino Muñoz, M.C. Julio Villaescusa, Oc. Arturo Siqueiros, M.C. Atilano Silva por su ayuda en todo momento y a Tania, Nancy y José Luis por ayudarme en el manejo del programa Sigma Plot y Surfer para la realización de las gráficas y el mapa.

A la Profesora Enriqueta Rodríguez Mozqueda, su hija Giselle, al popi y a la luna por su apoyo en todo momento.

A Norma Guevara, Gloria Elizalde, Delia, Rosy Carrillo, a Dra. Vilma Aguayo, a Ernestina, Mily y Lina Sarabia por ser tan buenas amigas y estar siempre ahí.

A las secretarias del IIO (Hortencia, Magui, Rosita, Miriam, Shelly y Suemy) y a la técnica del laboratorio de bacteriología (Celia), por toda su ayuda, sugerencias y todos los ánimos que me dieron durante la realización de esta tesis.

Al personal de biblioteca especialmente a (Elsa, Lorena, Paty, Lety, Olga, Alma, Katy, Eduardo, José, Alberto y Miguel).

DEDICATORIA

A MIS PADRES

**HERMENEGILDA MACÍAS CARRASCO
CRISTÓBAL GONZÁLEZ ACOSTA+**

POR SU APOYO EN TODO MOMENTO

A MIS HERMANOS

CRISTÓBAL, DORA LUZ, OLGA LETICIA

POR ESTAR SIEMPRE CONMIGO

A MI HIJA

ALEJANDRA

POR LA GRAN FUERZA Y MOTIVACIÓN QUE ME HA DADO

ESTA TESIS ES POR Y PARA USTEDES

**“ Tu vocación es ser feliz, es realizarte, es conocerte
y saber quién eres y que esperas de la vida, no la
desperdices, recuerda que solo tienes una y hay
que vivir cada minuto, como si fuese el último”.**

ÍNDICE

PÁGINA

1. RESÚMEN-----	--I
2. AGRADECIMIENTOS-----	-III
3. DEDICATORIA-----	--IV
4. ÍNDICE-----	---V
5. LISTA DE TABLAS-----	--VI
6. LISTA DE FIGURAS-----	---VIII
7. INTRODUCCIÓN-----	--1
7.1 ANTECEDENTES-----	--6
7.2 OBJETIVOS-----	11
8. MATERIALES Y MÉTODOS-----	-12
8.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO -----	-12
8.2 METODOLOGÍA DE CAMPO-----	-15
8.3 METODOLOGÍA DE LABORATORIO-----	-17
8.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PROCESAMIENTO DE DATOS-----	-20
9. RESULTADOS -----	21
10. DISCUSIÓN-----	-38
11. CONCLUSIONES-----	-43
12. REFERENCIAS-----	-44

LISTA DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
Tabla I.- Estaciones de muestreo para el estudio bacteriológico de agua de mar en la zona costera fronteriza México-Estados Unidos-----	16.
Tabla II.- Límites establecidos por la legislación para determinar la calidad de agua para uso recreativo-----	19
Tabla III.- Porcentaje de línea de costa milla ía que exceden los límites establecidos-----	22
Tabla IV.- Porcentaje de muestras que exceden los límites diarios establecidos-----	22
Tabla V.- Resultados de la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov al 95 % de confianza entre verano e invierno para las coliformes totales y fecales de agua de mar en la zona costera fronteriza México-Estados Unidos.-----	24
Tabla VI.- Porcentaje de muestras que exceden los límites mensuales establecidos-----	25
Tabla VII.- Concentración promedio de bacterias coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) en NMP 100 ml ⁻¹ , promedio geométrico de CF y porcentaje de muestras con valores mayores a 1000 CT en la zona costera durante verano-----	26
Tabla VIII.- Concentración promedio de bacterias coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) en NMP 100 ml ⁻¹ , promedio geométrico de CF y porcentaje de muestras con valores mayores a 1000 CT en la zona costera durante invierno-----	28

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1.- Localización del área de estudio y estaciones de muestreo -----	13
Figura 2.- Concentración promedio de coliformes totales (NMP 100 ml ⁻¹) en agua de mar de la zona fronteriza México-Estados Unidos durante verano e invierno--	31
Figura 3.- Concentración promedio de coliformes fecales (NMP 100 ml ⁻¹) en agua de mar de la zona costera fronteriza México-Estados Unidos durante verano e invierno-----	32
Figura 4.- Concentración promedio de enterococos (100 ml ⁻¹) en agua de mar de la zona costera fronteriza México-Estados Unidos durante invierno-----	33
Figura 5.- Distribución espacial de salinidad (‰) en las muestras de agua de mar durante verano e invierno-----	35
Figura 6.- Distribución espacial de temperatura (°C) en las muestras de agua de mar durante verano e invierno.-----	36
Figura 7.- Distribución espacial de pH en muestras de agua de mar durante verano e invierno-----	37

INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Sur de California (SCB) es un sistema marino costero entre Punta Concepción, California y Punta Colonett (Ensenada, B.C.), es una de las regiones más densamente pobladas ya que cerca de 20 millones de personas la habitan, además se calcula un incremento poblacional del 20% para el año 2010 (NRC, 1990). Esta región es ampliamente utilizada para realizar actividades comerciales, recreativas y pesqueras, siendo además, impactada por descargas de aguas residuales domésticas e industriales de las poblaciones costeras. Desde el punto de vista recreativo esto es importante, porque aproximadamente 175 millones de personas acuden a las principales playas a realizar actividades de natación, surf y buceo entre otras (USLA, 1998).

Con el aumento poblacional y económico en la región se ha incrementado también los problemas de contaminación en la zona costera fronteriza México-Estados Unidos, con un gran impacto en salud pública y economía, por tanto, los Gobiernos de México y de Estados Unidos han firmado acuerdos para proteger y mejorar el medio ambiente en la zona fronteriza de California y Baja California, uno en particular fué el Acuerdo de la Paz en 1983, el cual delineó los principales objetivos en materia de cooperación ambiental binacional. A partir de dicho acuerdo, se establecieron grupos de trabajo para enfrentar problemas tales como el manejo del agua, de esta forma las ciudades fronterizas se convierten en zonas de importancia en las estrategias políticas, económicas, sociales y ambientales de ambas naciones (Álvarez-López, 1990; Sánchez-Rodríguez, 1990).

Otro acuerdo importante surge en 1994 cuando México, Estados Unidos y Canadá se unieron para la protección del medio ambiente con la creación de la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA), en términos del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN). El propósito de esta organización internacional es ocuparse de los asuntos ambientales de preocupación común, contribuir a prevenir posibles conflictos ambientales derivados de la relación comercial y promover la aplicación efectiva de la legislación ambiental, éste acuerdo complementa las disposiciones ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC) suscrito por los tres países.

Un grave conflicto entre Estados Unidos y México ha sido la contaminación microbiológica en la zona fronteriza, en particular la de las principales playas de uso recreativo en el condado de San Diego como son: Playa Imperial y Silver Strand, las cuales ocasionalmente son cerradas a los bañistas en época de verano. Las autoridades de Estados Unidos (entre las cuales se pueden mencionar a algunos legisladores) responsabilizan a México del problema de contaminación.

Estudios de contaminación realizados con anterioridad en la zona costera fronteriza México-Estados Unidos por Sañudo- Wilhelmy 1983; Orozco-Borbón y Gutiérrez-Galindo 1983 ; Patrón- Mas, 1992; Quero-Santiago, 1992 y Segovia-Zavala *et al.*, 1995 indican que ésta es principalmente de origen orgánico y se deriva de las descargas de aguas residuales de las ciudades de Tijuana y Ensenada.

Más recientemente y debido a la importancia de la contaminación costera transfronteriza México-Estados Unidos en 1999 la Comisión de Cooperación Ambiental

(CCA) decide apoyar las actividades de investigación sobre contaminación costera realizadas por la Universidad Autónoma de Baja California subscribiendo un acuerdo para que investigadores del Instituto de Investigaciones Oceanológicas y Facultad de Ciencias Marinas de la UABC realicen actividades de monitoreo sobre Química del Agua, Sedimentos y Microbiología dentro del Proyecto Regional de Monitoreo de la Cuenca del Sur de California (Southern California Bight Regional Monitoring Project, BIGHT'98) organizado por Southern California Coastal Water Research Project, SCCWRP de Estados Unidos. Es necesario mencionar que la contaminación del agua en la zona costera noroccidental de Baja California, se debe al rápido crecimiento urbano e industrial y a la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento y control de las aguas residuales de los municipios del estado, principalmente de las ciudades de Tijuana y Ensenada.

Es de destacar además, que en los últimos años en el corredor turístico Tijuana-Ensenada se ha generado un incremento acelerado de la población y de centros turísticos, dando por resultado un aumento potencial de microorganismos patógenos como: virus, bacterias y protozoarios en el medio ambiente marino costero. Estos impactan la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico y constituyen un riesgo de salud para las personas que utilizan el agua de mar para actividades recreativas como la natación, buceo y surf, de ahí la importancia de determinar su calidad microbiológica.

Para determinar la calidad bacteriológica de las aguas costeras, se han utilizado tradicionalmente a indicadores de contaminación como: bacterias coliformes totales, coliformes fecales y enterococos. Los coliformes totales son bacterias gram-negativas aerobias o anaerobias facultativas, no esporuladas en forma de bacilo, las cuales fermentan

la lactosa con producción de ácido y gas durante 24 a 48 horas de incubación a 35°C. Algunas de las bacterias incluidas en este grupo están ampliamente distribuidas en la naturaleza y no necesariamente son originarias de material fecal. Consecuentemente los coliformes totales tienen actualmente poca utilidad como indicador de contaminación fecal APHA (1995). Los coliformes fecales constituyen un subgrupo de los coliformes totales, y se diferencian de estos por ser tolerantes a temperaturas más altas, ya que crecen a 44.5°C, APHA (1995). El subgrupo está formado principalmente por *E. coli*, los enterococos presentan alta tolerancia a condiciones ambientales adversas (altas o bajas temperaturas, deshidratación, salinidad, luz solar, etcétera). Este género incluye las especies *E. avium*, *E. casseliflavus*, *E. cecorum*, *E. durans*, *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. gallinarum*, *E. hirae*, *E. malodoratus*, *E. mundtii* y *E. solitarius*. La mayoría de estas especies son de origen fecal humano y generalmente se consideran como indicadores específicos.

Este trabajo formó parte del estudio bacteriológico de la Cuenca del Sur de California (BIGHT'98) el cual se realizó con el objetivo de determinar la calidad bacteriológica de las principales playas de uso recreativo, esta valoración se realizó utilizando a los principales indicadores de contaminación que son: las bacterias coliformes totales, fecales y enterococos.

El trabajo se efectuó de manera conjunta con varias agencias de Estados Unidos, para abordar el estudio de la cuenca desde una perspectiva regional y para conocer la calidad de las playas en ambos países, proporcionó además a las autoridades evidencia científica para el planteamiento de programas de regulación y manejo de acuerdo a la región aprovechando la experiencia e infraestructura de instituciones con amplia

trayectoria en investigación en contaminación Marina en la Cuenca de las Californias como es el caso del Southern California Coastal Water Research Project (SCCWRP).

ANTECEDENTES

La franja fronteriza marina entre México-Estados Unidos está situada al sur de la zona más industrializada y poblada de la costa oeste del continente americano, por tal motivo las aguas costeras adyacentes a la misma reciben considerables entradas de contaminantes provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Punta Loma California, de la ciudad de Tijuana en Punta Bandera y la del Gallo en Ensenada B.C.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Punta Loma California tiene una capacidad de 180 MGD y sus desechos se descargan por medio de un emisor submarino en la isobata de los 100 metros debajo de la termoclina, es del tipo primario avanzado, porque utiliza sustancias químicas (cloruro férrico y polímero aniónico), cuyo efecto es la floculación y sedimentación rápida, con una eficiencia del 80 y 90% para DBO y sólidos sedimentables respectivamente (Patrón-Mas,1992).

La planta de tratamiento de la ciudad de Tijuana en Punta Bandera es del tipo lagunas de oxidación su capacidad es de (130×10^6) litros diarios) y sus aguas residuales son evacuadas a cielo abierto sobre la línea de costa a 9 km de la línea fronteriza. Sañudo-Wilhelmy y Suárez-Vidal (1984) encontraron que su carga orgánica no es homogénea ya que presenta valores mayores durante verano, reportaron además que el valor promedio de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es de 7.03 ton/día.

Estudios bacteriológicos realizados en la descarga de aguas residuales de la ciudad de Tijuana en Punta Bandera (Orozco-Borbón *et al.*, 2000) muestran que los valores obtenidos están muy por encima de los límites mensuales establecidos para aguas de uso recreativo con contacto primario (20 % de las muestras que excedan 1000 coliformes totales/100 ml y promedio geométrico de 200 coliformes fecales/100 ml) y que se encuentran inclusive por arriba de las normas establecidas para las descargas por la NOM-001-ECOL-1996, ya que se han detectado valores entre 2000-160,000 coliformes fecales en 100 ml.

Las aguas residuales de la planta de tratamiento en Punta Bandera evacuadas en la línea de costa son sometidas a la dilución y dispersión por corrientes marinas, observaciones realizadas frente a la zona de la descarga determinan corrientes costeras con una consistencia de flujo de norte a sur durante la mayor parte del año y con inversión del sentido durante verano.

Álvarez-Sánchez *et al.*, 1990. Reportó que la difusión frente a la costa de Tijuana es diez veces mayor a lo largo del litoral (norte – sur) que la difusión normal a ésta (fuera de la costa), mientras que Godínez-Sandoval, (1986). Menciona que la advección en primavera es hacia el sur (25cm/s) y en verano hacia el norte, aunque más débil (15 cm/s).

En resumen los estudios físicos de corrientes y difusión realizados frente a Tijuana, B.C. apoyan los resultados obtenidos por Segovia-Zavala *et al*, 1995 y Morales-Chávez, 2000 los que determinaron que la dispersión de bacterias coliformes provenientes de las aguas residuales de la ciudad de Tijuana es predominante hacia el sur.

No obstante que las playas de Rosarito B.C. se ubican a 10 km de la descarga de Punta Bandera cumplen con la norma establecida para aguas de uso recreativo con contacto primario, sin embargo (Orozco-Borbón *et al*, 1998) encontraron que aproximadamente a 16.5 km al sur de Rosarito existen múltiples descargas de agua residual lo cual se refleja en valores altos de bacterias en la zona costera (200 a 30,000 coliformes fecales/100 ml).

Es importante destacar que cuando se realizó este estudio la ciudad Ensenada sólo contaba con las plantas de tratamiento el Sauzal y el Gallo ya que la planta de tratamiento el Naranjo fue inaugurada en septiembre 1999.

La planta de tratamiento El Sauzal es de lodos activados, tipo aeróbico, de barrera total, con un tratamiento secundario avanzado (cloro) y tiene una eficiencia nominal del 95%. Es una de las más modernas de México, fue construida en 1991 con un costo aproximado de 3 millones de dólares. Tiene una capacidad de 1 millón de galones/ día y funciona a un 60% de su capacidad, está localizada al noroeste de la

ciudad de Ensenada y recibe aguas residuales de las zonas residenciales de Chapultepec, La Moderna, San Marino, Colinas del Mar y Sauzal, también recibe agua de CICESE, Marina Coral y Hotel las Rosas, el sistema colector es de 24 a 30 pulgadas de diámetro y el efluente es descargado en el mar a la altura Playa California (* Oc. Flores Báez).

La planta de tratamiento El Gallo es una planta de tipo de lodos activados convencionales, cuenta con tanques de sedimentación primaria, tratamiento secundario y desinfección, con una capacidad instalada de 250 l seg^{-1} y trata un volumen promedio de aguas residuales de 98 l seg^{-1} . Estudios realizados en la planta de tratamiento de la CESPE por Segovia-Zavala y Galindo-Bect, 1984 mostraron que la eficiencia de la planta con respecto a los parámetros indicativos de contaminación orgánica es muy baja (menor de 35%), con excepción de los sólidos sedimentables que presentaron un 62% de eficiencia. Resultados similares fueron encontrados por Peña- Manjarréz, 1989 el cual determinó en la planta de tratamiento una eficiencia total para todos los parámetros del 26.8%. En resumen los resultados obtenidos en la planta de tratamiento El Gallo indican que no funcionaba adecuadamente, por lo que su descarga era una de las principales fuentes de contaminación bacteriológica hacia las playas adyacentes (Morales-Chávez, 1984).

*Comunicación personal.

Por tanto, Jiménez-González (1989) en su estudio bacteriológico detectó concentraciones elevadas de coliformes totales, fecales y estreptococos fecales en las principales playas al sur de la desembocadura del Arroyo el Gallo como son Playa Municipal, Cueva de los Tigres y Playa Hermosa, lo cual las hacía no aptas para uso recreativo.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto y debido a que las ciudades de Tijuana y Ensenada han generado contaminación orgánica bacteriológica en la zona costera noroccidental de Baja California, el Gobierno de México ha tomado medidas para evitar y reducir la contaminación bacteriológica en las aguas costeras adoptando límites de contaminación a las aguas residuales (NOM-001-ECOL-1996) y ha participado en la construcción de nuevas plantas de tratamiento, como la planta binacional México-Estados Unidos en San Ysidro California y la de El Naranjo en Ensenada.

HIPÓTESIS

Las mayores concentraciones de bacterias indicadoras de contaminación se presentarán en las estaciones de descarga de aguas residuales (ciudad de Tijuana y Ensenada) y drenes de tormenta, así como en las playas arenosas cercanas a éstas. Se encontrará una mayor correlación entre los dos grupos de bacterias coliformes que entre las bacterias coliformes y enterococos.

OBJETIVO

Desarrollar e implementar metodologías microbiológicas encaminadas a la evaluación ambiental de la zona costera comprendida entre Tijuana-Ensenada. Esto permitirá sistematizar las metodologías de análisis y muestreo de la zona costera y proporcionará las bases para la comparación de resultados obtenidos con respecto a los obtenidos en el estudio de la Cuenca del Sur de las Californias que realizan 22 dependencias de Estados Unidos coordinados por la SCCWRP.

Objetivos específicos.

- Determinar el tipo y grado de influencia de las aguas residuales en la zona costera.
- Determinar la extensión de la línea de costa que se encuentra dentro de los estándares de calidad microbiológica para aguas de uso recreativo.
- Generar una base de datos confiable y actualizada que se encuentre a disposición de las entidades a cargo de regular las descargas de aguas residuales

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio.

El área de estudio se encuentra localizada entre los 32.527 y los 31.718 de latitud norte y entre los 116.66 a los 117.12 de longitud oeste (Figura 1). Comprendiendo la región costera noroccidental de Baja California, desde la frontera con Estados Unidos, hasta Punta Banda, B.C. El área es relativamente somera con pendiente suave y una profundidad promedio de aproximadamente 25 metros. En el Southern California Bight (SCB), las corrientes son variables y pueden presentar flujo en direcciones opuestas alternantes durante el año. La región costera está densamente poblada en ambos lados de la frontera México- EUA y la eliminación de aguas de desecho es en el mar, lo que representa un potencial de contaminación para la zona costera.

El clima predominante es templado, semiseco con una temperatura media anual de 16°C, algo extremoso con oscilación promedio anual de 9.6°C; los veranos son frescos, se presentan nieblas frecuentes sobre el mar y a lo largo de la costa. El régimen de lluvias es invernal, con un máximo de precipitación durante los meses de diciembre, enero y febrero, con un carácter de precipitación moderada continua (Secretaría de Marina, 1974).

Los vientos prevalecientes a lo largo de la costa son del noroeste, especialmente durante los meses de marzo a octubre. Durante los meses de noviembre a febrero son frecuentes los vientos del sureste, con ocasionales ventarrones moderados, acompañados por lluvias (United States Department of the Interior, 1979). Las precipitaciones pluviales

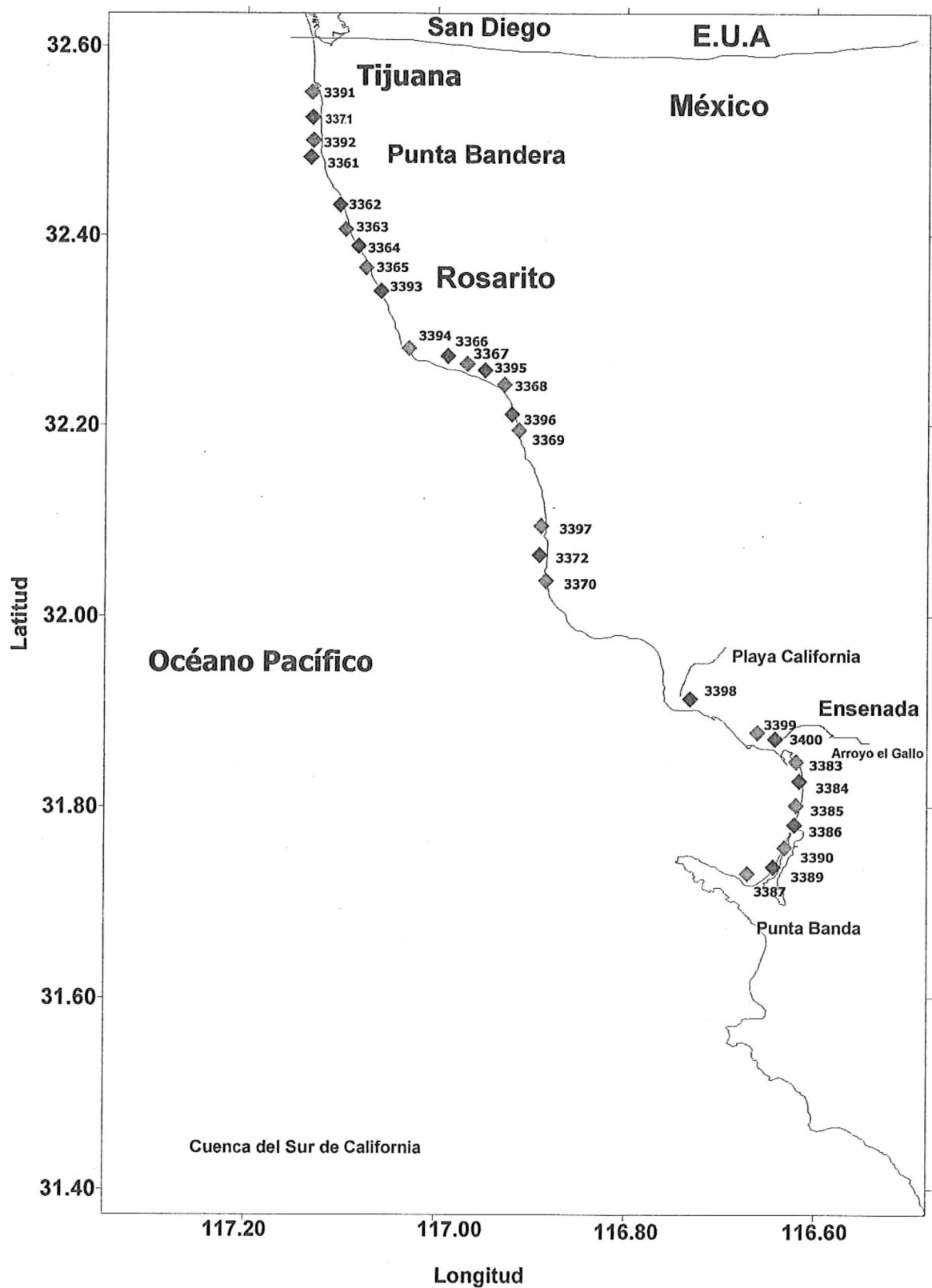


Figura 1.- Localización del área de estudio y estaciones de muestreo.

son escasas y no corresponden a ciclos o periodos normales y uniformes, mucho más aisladas en las zonas costeras durante el verano, presentando un aumento durante el invierno, aunque en los últimos años las lluvias de invierno han afectado seriamente a la entidad, destacándose las inundaciones ocasionadas por las precipitaciones pluviales ocurridas durante 1979 a 1980.

La ciudad de Ensenada, B.C., presenta un promedio de 254 mm de precipitación anual, con un promedio en enero de aproximadamente 76 mm (United States Department of the Interior, 1979), posee un alto desarrollo industrial y poblacional con aproximadamente 369,473 habitantes, por lo que puede decirse que tiene problemas de contaminación principalmente orgánica-bacteriológica la cual ha sido estudiada por Sañudo-Wilhelmy *et al*, 1984; Segovia-Zavala, 1984; Delgadillo-Hinojosa y Orozco-Borbón, 1987; Orozco-Borbón y Delgadillo-Hinojosa, 1989. En cuanto al municipio de Tijuana, presenta un promedio de 273 mm anuales de precipitación (Negrete *et al*, 1980).

Metodología de campo.

El muestreo se realizó en 29 sitios (10 descargas de aguas residuales y pluviales y 19 playas de uso recreativo) de la zona costera fronteriza México-Estados Unidos entre playas de Tijuana y Punta Banda en Ensenada, B.C. (Figura 1, Tabla I). Esta área incluye aproximadamente 80 millas de línea de costa. Cada sitio se muestreó una vez por semana durante cinco semanas consecutivas en verano (3 -31 agosto 1998) e invierno (1 de febrero al 1 de marzo 1999).

Los sitios de muestreo se seleccionaron usando un diseño al azar y estratificado y su localización se realizó mediante un sistema digitalizado GIS y de acuerdo al tipo de costa.

Las muestras se colectaron en botellas estériles, al tomar la muestra la botella se colocó en contra de la corriente evitando contaminación, dejando un espacio vacío de aproximadamente 5 cm entre la muestra y la tapa. Las botellas se almacenaron en hielo y en oscuridad y se trasladaron al laboratorio para su análisis inmediato (antes de las seis horas de colecta).

Como parte complementaria se midieron las variables ambientales; temperatura, salinidad y pH. La temperatura se midió con un termómetro digital calibrado marca Fisher Scientific, la salinidad (‰) se determinó con un salinómetro de inducción marca Beckman modelo RS10 y el pH con un potenciómetro marca Fisher Scientific modelo Accumet.

Tabla I.- Estaciones de muestreo para el estudio bacteriológico de agua de mar en la zona costera fronteriza México-Estados Unidos.

ESTACIÓN	NOMBRE DE ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD
3391*	CESPTT Playas de Tijuana	117.12	32.527
3371	Playas de Tijuana	117.12	32.525
3392*	Punta Bandera	117.11	32.445
3361	Real del Mar	117.10	32.443
3362	San Antonio del Mar	117.10	32.426
3363	El Oasis	117.09	32.392
3364	Vista al Mar	117.07	32.364
3365	Rosarito	117.06	32.340
3393*	Hotel Paraíso Ortiz	117.05	32.331
3394*	El Morro	116.99	32.261
3366	El Pescador	116.94	32.243
3367	Sur de Puerto Nuevo	116.93	32.236
3395*	Arroyo Cantamar	116.92	32.228
3368	Playa Cantamar	116.92	32.226
3396*	Arroyo el Descanso	116.91	32.201
3369	Misión Viejo	116.91	32.198
3397*	La Misión	116.88	32.091
3372	Playa Km 71	116.88	32.074
3370	Las Olas	116.89	32.049
3398*	Playa California	116.70	31.891
3399*	Arroyo Ensenada	116.62	31.858
3400*	Playa Municipal	116.62	31.845
3383	Conalep	116.61	31.826
3384	Ciprés	116.61	31.808
3385	Pirinsky	116.62	31.760
3386	Estero Punta Banda	116.61	31.775
3390	Baja Beach	116.64	31.731
3389	Boca Estero	116.63	31.751
3387	La Joya	116.66	31.718

*Descarga.

Metodología de Laboratorio.

El análisis bacteriológico se realizó por el método de fermentación de tubos múltiples mediante la técnica del número más probable (NMP), con serie de cinco tubos (APHA,1995).

El método del **NMP** se basa en la propiedad que tiene el grupo coliforme a fermentar la lactosa con formación de gas en un lapso de 24-48 horas a 35 °C, por lo que se efectuó la prueba presuntiva la cual consistió en inocular la muestra en medio caldo lactosado, incubando 48 horas a 35 °C; los tubos que mostraron desprendimiento de gas se consideraron positivos para la presencia de bacterias coliformes

El análisis confirmativo para coliformes totales (CT) se basa en la aplicación del medio selectivo con Verde Bilis Brillante (VBB) al 2%, mismo que inhibe organismos que no sean miembros del grupo coliforme. Se incubaron por 48 horas a 35°C; simultáneamente se realizó el análisis confirmativo para coliformes fecales (CF) en medio EC a 44.5 °C en baño de agua por 24 horas.

Los enterococos fueron determinados mediante la metodología Enterolert, manufacturada por la Iddex Inc. La detección de los enterococos se basa en la tecnología sustrato definido (DST) la cual emplea un indicador nutriente que emite fluorescencia al ser metabolizado por los enterococos

**Tabla II.- Límites establecidos por la legislación para determinar la calidad
de agua para uso recreativo.***

INDICADOR	LÍMITE DIARIO 100 ML ⁻¹	LÍMITE MENSUAL 100 ML ⁻¹
Coliforme total	10,000	20% de las muestras > 1,000
Coliforme fecal	400	200 (GM)
Enterococos	104	35 (GM)
Razón total/fecal	Cuando TC > 1,000 y TC/FC ≤ 10 También, cuando TC > 1,000 y TC/TF ≤ 5	

GM= promedio geométrico en un período de 30 días

*** Assembly Bill 411(AB411) y el California Ocean Plan (1990).**

Análisis Estadístico y procesamiento de datos.

Para poder caracterizar adecuadamente el sistema en estudio, se llevó a cabo la estadística descriptiva de todas las variables analizadas, se obtuvieron las medidas de tendencia central (media, valor máximo y mínimo) para cada estación de muestreo.

Para determinar la normalidad de los datos, se le aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov al 95% de confianza utilizando el Programa Statistica para Windows versión 5.5. Los datos no se ajustaron a una distribución normal.

Para determinar la posible relación entre los diferentes indicadores utilizados (coliformes fecales, coliformes totales y enterococos), se realizó un análisis de regresión lineal no paramétrico de Pearson al 95% de confianza.

RESULTADOS

En verano el 25.3% de la línea de costa milla día (LCMD) de las playas excedió los límites de bacterias indicadoras, mientras que en invierno fue del 17% (Tabla III). En las descargas el porcentaje de LCMD que excedió los límites de bacterias indicadoras fue menor en verano (32.7%) que en invierno (50%) debido a que se incluyeron a los Enterococos.

Aunque el porcentaje de LCMD que excedió los estándares de coliformes totales fue bajo (2.6 a 16.0 %), éste fue cinco veces mayor en las descargas que en las playas y, ligeramente mayor (1.25 veces) en invierno que en verano.

El porcentaje de LCMD que excedió los límites diarios sin considerar a los enterococos fue similar en ambos períodos de muestreo (Tabla III). La tendencia, de mayor a menor, fue: coliforme fecal > coliforme total:coliforme fecal > coliformes totales. Aunque en invierno los enterococos se situaron como los primeros.

Los porcentajes de muestras de playas y descargas que excedieron los límites diarios se observan en la Tabla IV. En verano el 17.9% de las muestras de las playas excedieron al menos un estándar mientras que en el invierno lo excedió un 23.2%. Con respecto a las descargas el 20% de las muestras en verano excedió al menos un estándar mientras que en invierno fue del 24%. En general, los porcentajes de invierno fueron ligeramente superiores a los de verano (1.0 a 1.6 veces) con excepción de las descargas en invierno ya que estas sobrepasaron en un 16% los tres estándares

Tabla III. Porcentaje de línea de costa milla día que exceden los límites establecidos.

INDICADOR	ENTEROCOCOS	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	TC:FC <10
Verano				
Playa		2.6	25.3	16.5
Descarga		12.7	32.7	21.8
Invierno				
Playa	17	3.2	15.8	13.7
Descarga	50	16	32	34

Tabla IV. -Porcentaje de muestras que exceden los límites diarios establecidos.

ÉPOCA	CUATRO ESTÁNDARES	TRES ESTÁNDARES	DOS ESTÁNDARES	UN ESTÁNDAR
Verano				
Playas	-	1.05	4.2	17.9
Descargas	-	4	10	20
Invierno				
Playas	0	2.1	4.2	23.2
Descargas	0	16	16	24

bacteriológicos, valor cuatro veces superior al de verano. La prueba estadística de homogeneidad de varianzas de Kolmogorov-Smirnov para bacterias coliformes fecales de agua de mar en la zona costera (Tabla V), no mostró diferencias significativas entre los dos períodos de muestreo con excepción de la **3390** y **3398**. Con respecto a las coliformes totales se encontraron diferencias significativas en las estaciones **3361,3390,3392** y **3398**.

En cuanto a los porcentajes de muestras que excedieron los límites mensuales (Tabla VI) éstos fueron mayores en invierno que en verano, ya que el 52% de las playas y el 80% de las descargas excedieron cualquier estándar mientras que en verano fueron el 31% y 30%, respectivamente.

Las concentraciones promedio de bacterias coliformes totales y fecales en la zona costera durante verano se presentan en la Tabla VII. La mayor concentración promedio de bacterias coliformes se encontró en la estación **3400** con 685,600 CT 100 ml⁻¹ y 524,800 CF 100 ml⁻¹. Ambos indicadores excedieron los límites establecidos ya que el 100% de las muestras excedió las 1000 CT y el promedio geométrico de las coliformes fecales fue de 125,892 concentración muy por encima del valor límite de 200 CF 100 ml⁻¹.

Aunque en las estaciones **3392,3366,3383** y **3384** las concentraciones promedio de coliformes totales y coliformes fecales también fueron altas, éstas fueron un orden de

Tabla V.- Resultados de la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov al 95 % de confianza entre verano e invierno para las coliformes totales y fecales de agua de mar en la zona costera fronteriza México-Estados Unidos. S=significativa NS= no significativa

ESTACIÓN	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES
3391	NS	NS
3371	NS	NS
3392	S	NS
3361	S	NS
3362	NS	NS
3363	NS	NS
3364	NS	NS
3365	NS	NS
3393	NS	NS
3394	NS	NS
3366	NS	NS
3367	NS	NS
3395	NS	NS
3368	NS	NS
3396	NS	NS
3369	NS	NS
3397	NS	NS
3372	NS	NS
3370	NS	NS
3398	S	S
3399	NS	NS
3400	NS	NS
3383	NS	NS
3384	NS	NS
3385	NS	NS
3386	NS	NS
3390	S	S
3389	NS	NS
3387	NS	NS

Tabla VI.- Porcentaje de muestras que exceden los límites mensuales establecidos.

EPOCA	TRES ESTÁNDARES	DOS ESTÁNDARES	UN ESTÁNDAR	NINGUNO
Verano				
Playa	-	26	5	69
Descarga	-	20	10	70
Invierno				
Playa	5	5	42	48
Descarga	30	20	30	20

Tabla VII.- Concentración promedio de bacterias coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) en NMP 100 ml⁻¹, promedio geométrico de CF y porcentaje de muestras con valores mayores a 1000 CT en la zona costera durante verano n=5.

ESTACIÓN	PROMEDIO CT 100 ML ⁻¹	PROMEDIO CF 100 ML ⁻¹	% > 1000 CT	PROMEDIO GEOMETRICO CF
3391	596	424	20	284
3371	2422	2422	60	660
3392	41,000	36,200	100	8,908
3361	1380	1380	80	1,258
3362	570	563	20	207
3363	122	122	0	65
3364	144	67	0	34
3365	205	195	0	28
3393	235	167	0	74
3394	316	306	0	197
3366	48,300	13,720	80	3,812
3367	55	47	0	23
3395	238	172	0	86
3368	9	8	0	4
3396	334	109	20	19
3369	187	106	0	14
3397	99	75	0	12
3372	64	64	0	9
3370	9	6	0	4
3398	362	198	0	132
3399	523	203	20	133
3400	685,600	524,800	100	125,892
3383	34,380	33,580	80	3370
3384	32,568	32,528	40	1207
3385	190	184	0	35
3386	112	67	0	19
3390	23	23	0	20
3389	2	2	0	2
3387	51	49	0	15

magnitud menor a las de la estación **3400**. Mientras que el porcentaje de muestras que excedió las 1000 CT fue de 100, 80, 80 y 40, respectivamente. Las estaciones **3371** y **3361** presentaron valores dos órdenes de magnitud menor a las de la estación **3400** sin embargo el porcentaje de muestras que excedió las 1000 CT fue de 60 y 80, respectivamente.

En cuanto a las concentraciones promedio de bacterias indicadoras en la zona costera durante invierno (Tabla VIII) los valores mayores se encontraron también en la estación **3400** con 3660,000 CT 100 ml⁻¹, 1162, 000 CF 100 ml⁻¹ y 96,420 enterococos 100 ml⁻¹. Estos valores son muy superiores a los límites establecidos para aguas de uso recreativo. Aunque en las estaciones **3361** y **3398** las concentraciones promedio de bacterias también fueron altas, éstas fueron menores a las de la estación **3400**. La diferencia fue de dos órdenes de magnitud para CT, CF mientras que para los Enterococos fué de dos ordenes de magnitud para la **3361**, además el porcentaje de muestras que excedió las 1000 CT fue 100 en ambas estaciones.

Las estaciones **3392** y **3367** presentaron valores de tres (CT y enterococos) a cuatro (CF) órdenes de magnitud menores a las de la estación **3400** sin embargo el porcentaje de muestras que excedió las 1000 CT fue de 80 y 60, respectivamente.

Las bacterias coliformes totales y las fecales mostraron una alta correlación entre sí (Tabla IX) tanto en verano ($r=0.93$) como en invierno ($r=0.95$). Mientras que con los enterococos la correlación fue menor ($r=0.75$ y $r=0.76$, respectivamente). Lo cual significa que las concentraciones de CT y CF variaron de igual manera. Esto se aprecia

Tabla VIII.- Concentración promedio de bacterias coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) en NMP 100 ml⁻¹, promedio geométrico de CF y porcentaje de muestras con valores mayores a 1000 CT en la zona costera durante invierno n=5.

ESTACIÓN	PROMEDIO CT 100ML ⁻¹	PROMEDIO CF 100 ML ⁻¹	PROMEDIO ENTEROCOCOS 100 ML ⁻¹	% ≥ 1000 CT	PROMEDIO GEOMÉTRICO CF	PROMEDIO GEOMÉTRICO ENTEROCOCOS
3391	796	396	144	40	199	134
3371	874	186	132	20	181	90
3392	1680	624	87	80	257	52
3361	18,680	17,120	912	100	7451	648
3362	1308	492	84	20	189	75
3363	839	517	89	40	117	76
3364	468	224	90	20	68	77
3365	379	377	69	20	57	65
3393	514	260	145	20	254	132
3394	248	48	50	0	40	36
3366	320	241	25	0	42	15
3367	1964	484	36	60	174	31
3395	616	199	70	20	65	53
3368	526	105	30	20	44	29
3396	16	11	18	0	8	17
3369	32	11	25	0	7	24
3397	16	6	31	0	6	29
3372	16	16	20	0	4	11
3370	4	2	37	0	2	29
3398	25200	12000	1283	100	7490	794
3399	1360	620	582	20	149	290
3400	3660,000	1162,000	96,420	100	1267	39,264
3383	210	98	24	0	37	14
3384	56	52	36	0	20	18
3385	76	59	148	0	15	114
3386	11	7	43	0	5	41
3390	2	2	23	0	2	20
3389	6	2	24	0	2	22
3387	62	61	70	0	14	65

Tabla IX.- Índice de correlación de pearson al 95 % de confianza entre bacterias indicadoras de contaminación.

EPOCA	COLIFORME TOTAL COLIFORME FECAL	COLIFORME TOTAL ENTEROCOCOS	COLIFORME FECAL ENTEROCOCOS
Verano	0.93	-	-
Invierno	0.95	0.75	0.76

claramente en las Figuras 2 y 3. En el caso de enterococos (Fig. 4) en las estaciones **3365** a **3368** así como en **3370**, **3384** y **3385** la variación, con respecto a CT y CF, fue diferente.

Los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos se observan en (Tabla X) y las Figuras 5 a 7. La salinidad en la mayoría de las estaciones fue de aproximadamente 33‰ en ambos períodos de muestreo (Fig. 5). En verano las menores salinidades se presentaron en las estaciones **3392**, **3394**, y **3399** con valores de 27.6652‰, 28.6327‰, y 31.6858 ‰ respectivamente. En invierno las estaciones que presentaron una menor salinidad fueron la **3398** (15.6124‰) y **3400** (26.8897‰), aunque las estaciones **3394** y **3392** presentaron también bajas salinidades con valores de 28.0197 ‰ y 31.9305‰, respectivamente.

La temperatura varió entre 18.6 a 28.2 en verano y entre 13.1 a 18.0 en invierno (Fig.6). En general, los valores de verano de las estaciones **3391** a **3398** fueron 5°C más altos que los de invierno, mientras que en el resto de las estaciones (**3399** a **3387**) la diferencia fue de 8 a 10°C.

Los máximos de temperatura del agua de mar en ambos períodos de muestreo se presentaron en las estaciones **3364** y **3385**. Con respecto al pH, este varió entre 7.83 a 8.19 en verano y entre 7.92 a 8.10 en invierno (Fig. 7). En ambos períodos de muestreo el valor mínimo se detectó en la estación 3400.

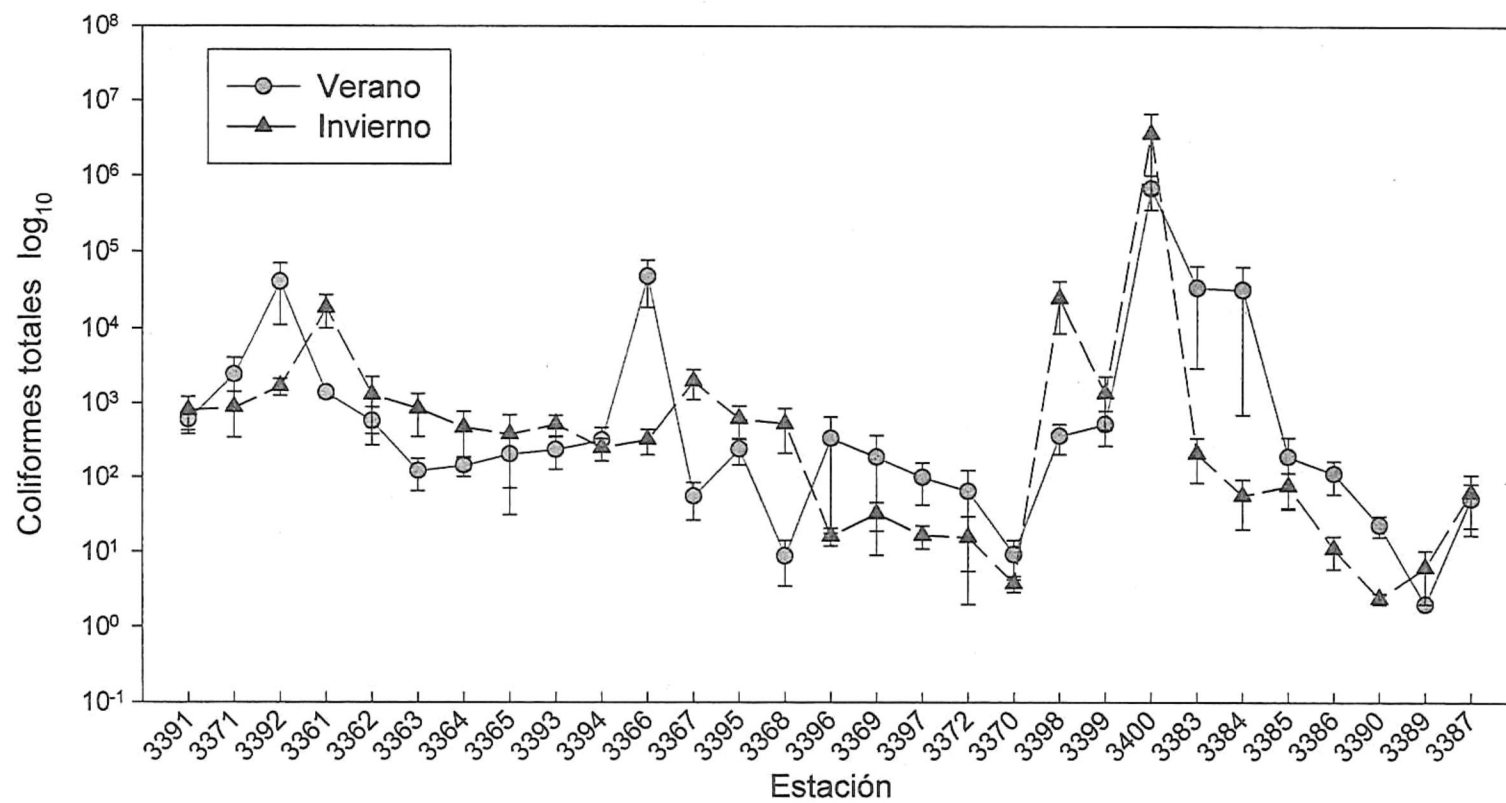


Figura 2.-Concentración promedio de coliformes totales (NMP 100 ml⁻¹) en agua de mar de la zona costera fronteriza México-Estados Unidos durante verano e invierno.

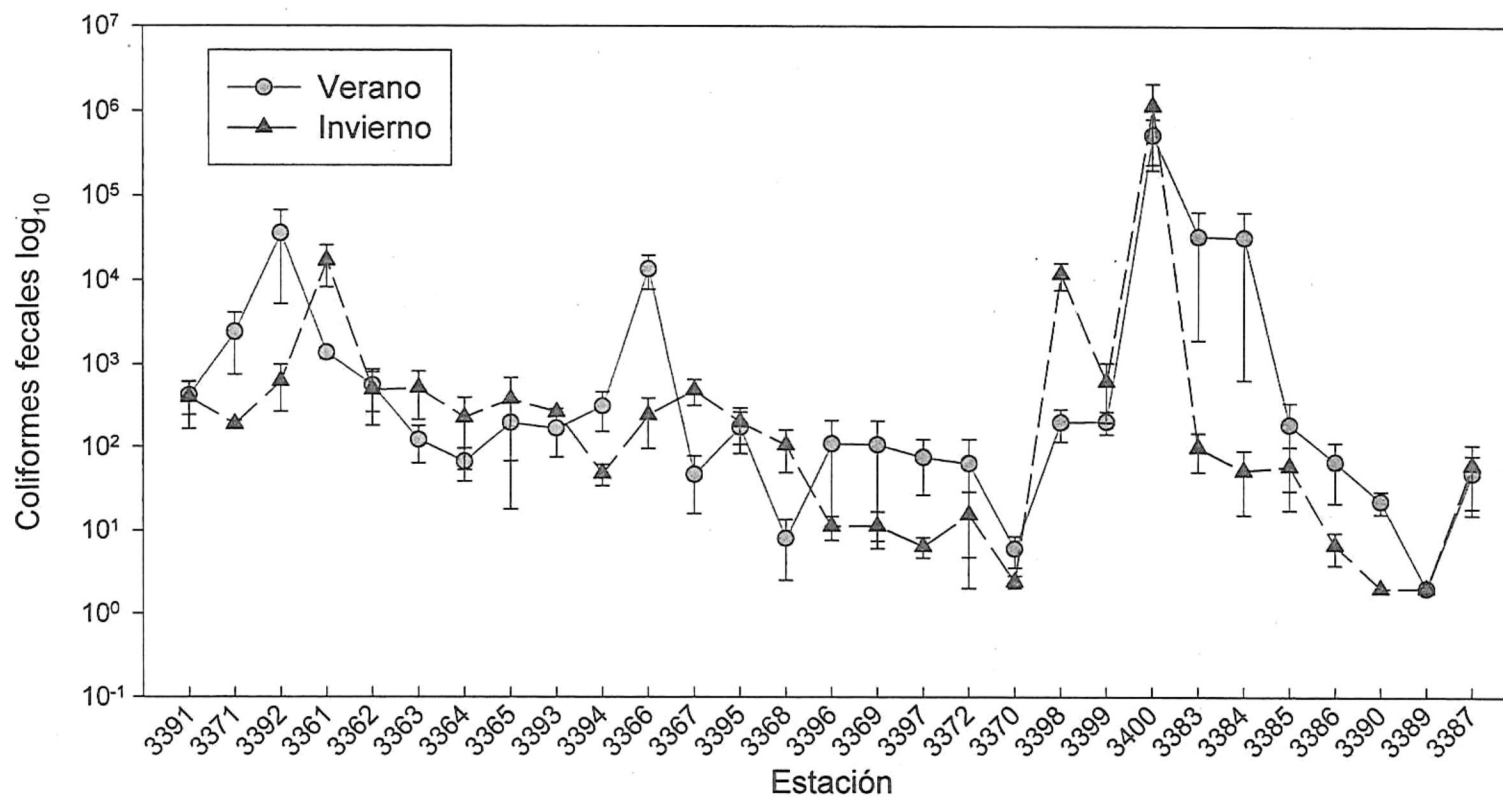


Figura 3.- Concentración promedio de coliformes fecales (NMP 100 ml⁻¹) en agua de mar de la zona costera fronteriza México-Estados Unidos durante verano e invierno.

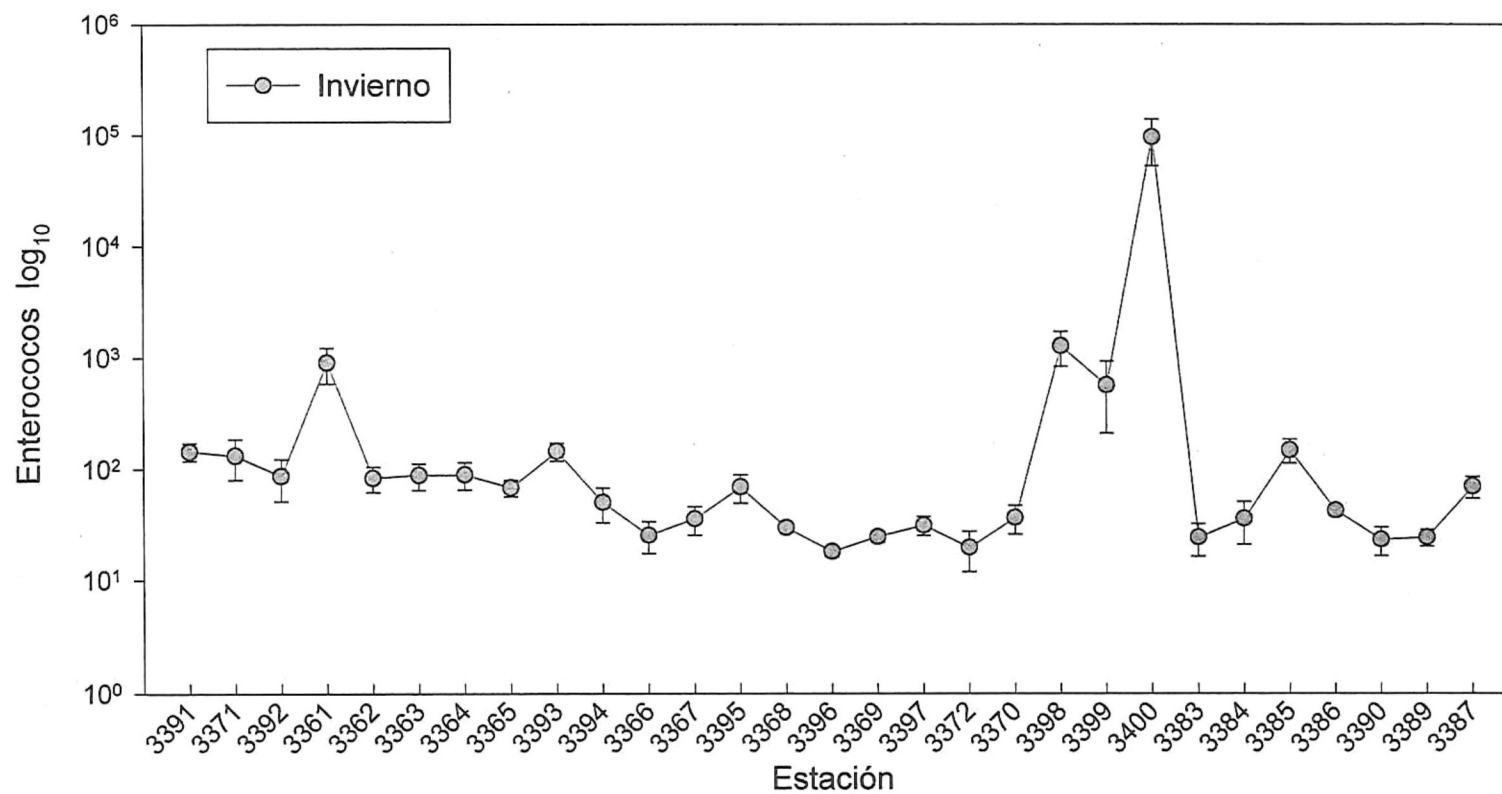


Figura 4.- Concentración promedio de enterococos (NMP 100 ml⁻¹) en agua de mar de la zona costera fronteriza México-Estados Unidos durante invierno.

Tabla X.- Valores promedio de salinidad (‰) , temperatura (°C) y pH en la zona costera durante verano de 1998 e invierno de 1999.

ESTACION	SALINIDAD VERANO	SALINIDAD INVIERNO	TEMPERATURA VERANO	TEMPERATURA INVIERNO	pH VERANO	pH INVIERNO
3391	33.2716	33.6707	18.8	13.2	8.09	7.95
3371	33.3250	33.6487	18.8	13.1	8.10	7.93
3392	27.6652	31.9305	19.6	13.3	8.03	7.97
3361	32.6617	32.4021	18.8	13.4	8.09	7.98
3362	33.9515	33.6194	18.9	13.3	8.11	7.96
3363	33.3508	33.6780	18.6	13.6	8.08	7.93
3364	33.6627	33.7599	28.2	17.1	8.09	7.98
3365	33.6619	33.6905	19.0	14.4	8.13	8.00
3393	33.6550	33.1618	19.0	14.4	8.12	8.02
3394	28.6327	28.0197	20.0	15.1	7.96	8.05
3366	33.6552	33.6446	19.8	14.3	8.11	8.07
3367	33.6325	33.6992	19.7	14.2	8.12	8.03
3395	33.3375	32.5983	20.3	14.5	8.10	8.06
3368	33.6525	33.6679	20.0	14.4	8.13	8.04
3396	33.6487	33.5674	20.0	14.3	8.13	8.01
3369	33.6525	33.6837	19.9	14.4	8.13	8.06
3397	32.0827	33.5844	20.5	14.1	8.12	7.99
3372	33.6405	33.7096	20.1	14.2	8.12	8.02
3370	33.6503	33.7121	20.0	14.5	8.19	8.07
3398	33.6951	15.6124	21.6	16.0	8.13	7.93
3399	31.6858	33.0140	23.9	15.0	8.00	7.85
3400	33.3350	26.8897	23.0	16.1	7.83	7.92
3383	33.3572	33.6292	24.0	14.8	7.99	7.99
3384	33.6853	33.7104	23.6	15.3	8.03	8.02
3385	34.3955	33.9583	26.3	18.0	8.12	8.07
3386	34.3350	33.7209	24.6	15.3	8.18	8.09
3390	33.6983	33.8196	24.6	16.1	8.17	8.03
3389	33.6723	33.8147	25.3	15.8	8.09	8.08
3387	34.3387	33.7937	24.5	16.4	8.15	8.10

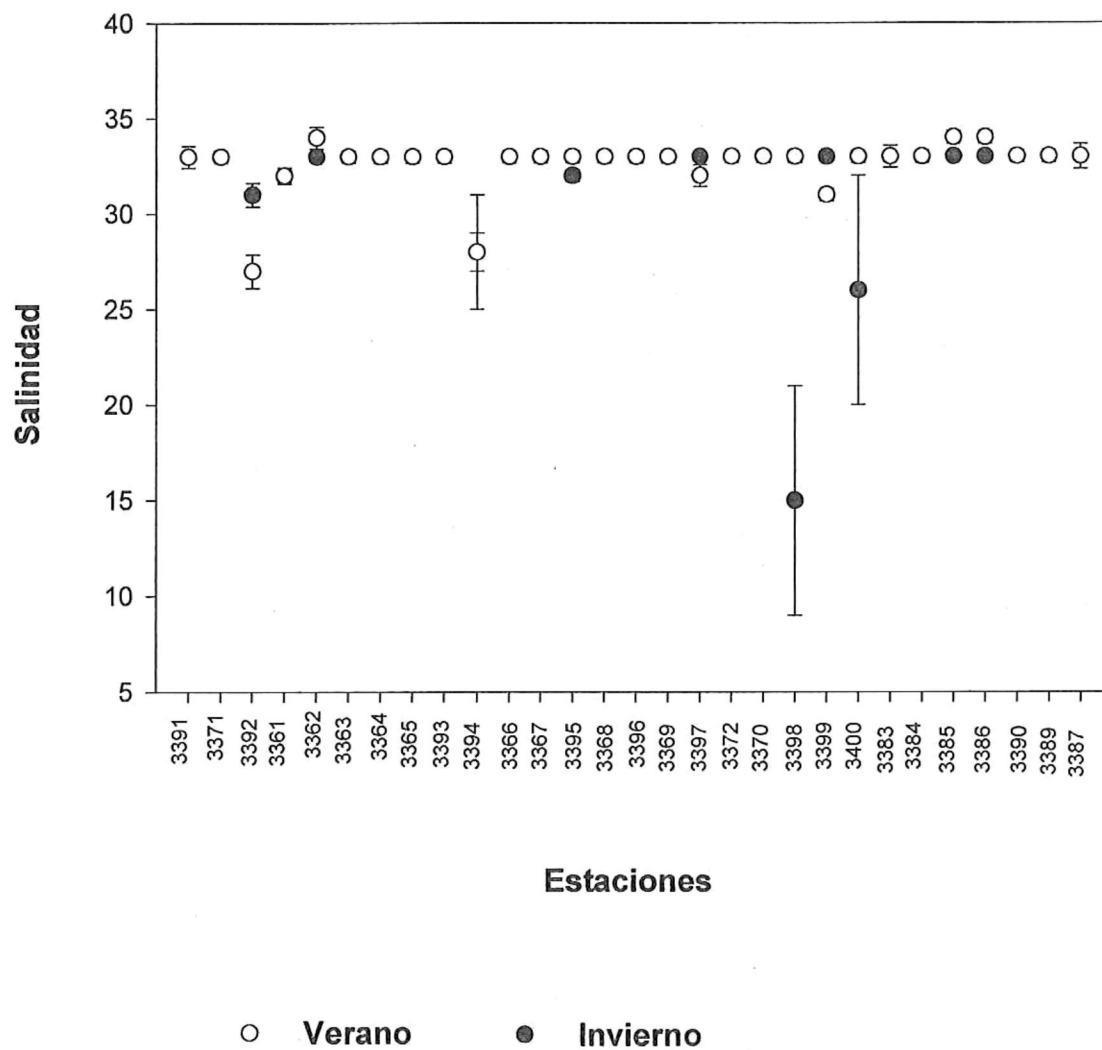


Figura 5.- Distribución espacial de salinidad (‰) en verano e invierno. Las barras verticales representan + - error estándar y cada punto es la media de 5 muestras.

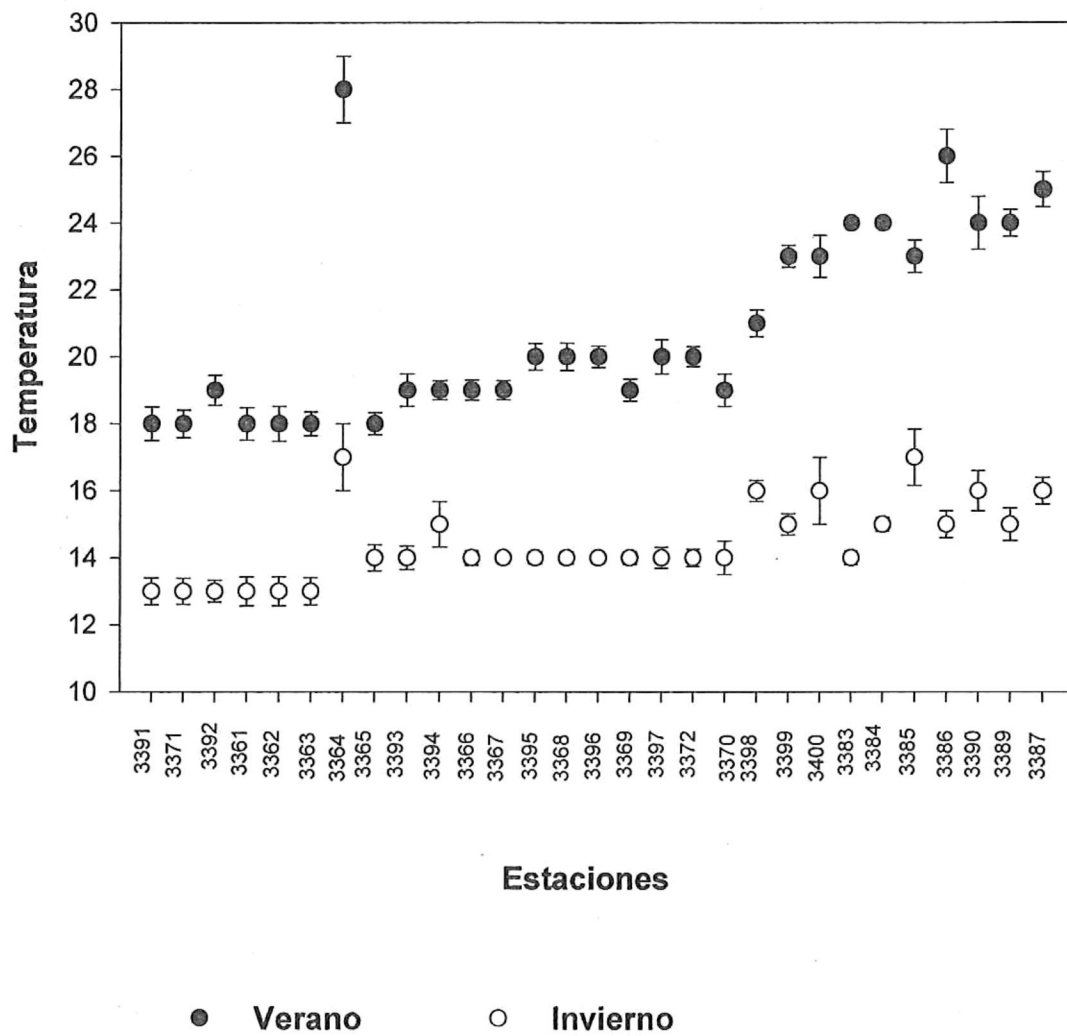


Figura 6.- Distribución espacial de temperatura (°C) en verano e invierno. Las barras verticales representan + - error estándar y cada punto es la media de 5 muestras.

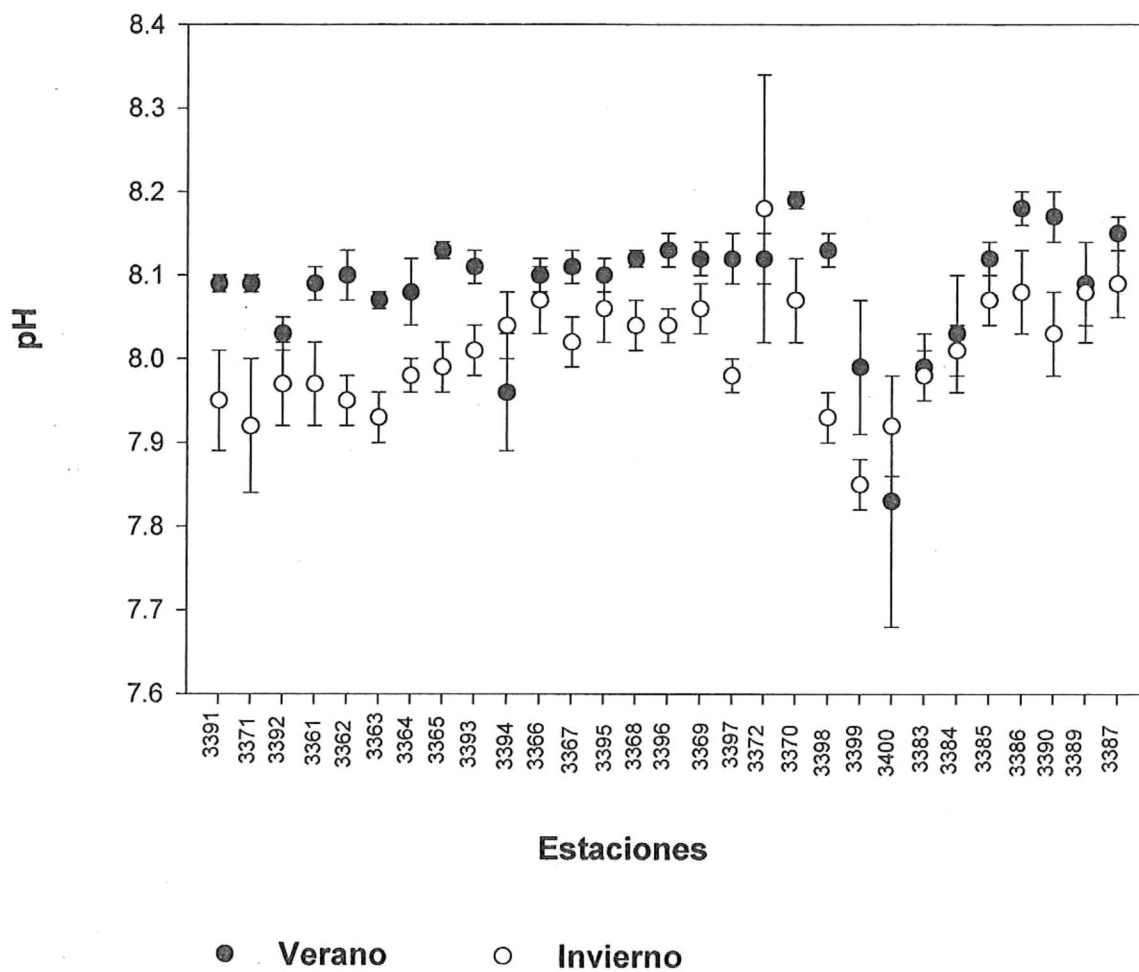


Figura 7.- Distribución espacial de pH en verano e invierno.
 Las barras verticales representan el error estándar y cada punto es la media de 5 muestras.

DISCUSIÓN

Al comparar los valores promedio de concentración de bacterias indicadoras obtenidos en este estudio se observó que en la mayoría de las estaciones no hubo diferencia entre los dos períodos de muestreo, y en las estaciones donde hubo diferencia no se observó una tendencia aparente con el período de muestreo. En algunas estaciones (3390,3392) los valores fueron mayores en verano y en otras (3361,3398) se presentaron en invierno. Las mayores concentraciones de bacterias en verano en la estación **3390** (Baja Beach) se explican por la presencia de altas concentraciones de algas rojas lo que hace suponer la presencia de una mayor cantidad de materia orgánica disuelta y particulada útil para la sobrevivencia de bacterias, por otra parte, la mayor concentración de bacterias en la estación **3392** (Descarga de Punta Bandera) se relaciona con el flujo de la descarga de la Planta de Tratamiento de Punta Bandera la cual es mayor en época de verano.

Con respecto a las concentraciones más altas de bacterias encontradas en la estación 3361 (Real del Mar) en invierno se relacionan a un mayor aporte de aguas residuales, aunque es importante señalar que ésta fue clasificada inicialmente como playa arenosa.

Las mayores concentraciones de bacterias en la estación 3398 (Playa California) se deben a que existió un mayor aporte de bacterias por las descargas de drenes de tormentas las cuales descargan en el mar. En este sitio también se detectaron varias descargas de aguas residuales de casas habitación y la presencia de gran cantidad de basura. Se descarta que la descarga de la Planta de Tratamiento del Sauzal sea la

responsable de ocasionar la contaminación allí existente, ya que estudios bacteriológicos realizados en el efluente de esta planta de tratamiento muestran que cumple con la norma oficial mexicana (NOM-001-ECOL-1996).

Es de destacar que la zona costera en invierno presentó una baja precipitación pluvial, de 2.5 cm durante el período del estudio (CNA,1999). Además, una cantidad no significativa de lluvia cayó antes de la toma de muestras.

En períodos normales de lluvias los drenes de tormenta reciben una gran cantidad de contaminantes incluyendo bacterias indicadoras (Segovia-Zavala y Orozco-Borbón, 1986; Orozco-Borbón y Sañudo Wilhelmy, 1988). Estudios realizados en la Cuenca del Sur de California han reportado que los escurrimientos por lluvia pueden llegar a impactar la calidad del agua de la zona costera marina por la incorporación de sedimentos, nutrientes, compuestos químicos tóxicos, y patógenos microbianos (Noble *et al.*, 2000a ; Jiang *et al.*, 2001). Las salinidades medidas en invierno (Fig. 5) indican que no existió un aporte significativo de agua a la zona costera por los drenes de tormenta. Por lo que, la mayoría de las descargas de agua dulce presentaron bajas concentraciones de bacterias indicadoras de contaminación.

En ambos períodos de muestreo las descargas mostraron una menor calidad bacteriológica que las playas arenosas ya que el 32.7 % de la línea de costa milla día en verano y el 50% en invierno excedieron los límites de los indicadores bacteriológicos, esto se debe a que reciben una gran cantidad de materiales contaminantes incluyendo

aguas residuales clandestinas y desechos de fosas sépticas, sin embargo no son la únicas fuente de contaminación fecal ya que aves acuáticas, mamíferos marinos así como perros y caballos pueden contribuir también con la contaminación bacteriana.

Las descargas que destacan por su volumen evacuado y su impacto en la zona costera son las de las plantas de tratamiento de Punta Bandera (3392) y El Gallo (3400) en Ensenada. La planta de tratamiento de Punta Bandera evacúa 130 millones de litros diarios de agua residual en la zona costera y ha sido señalada en Estados Unidos como fuente de contaminación de las principales playas de uso recreativo de San Diego, California como son Playa Imperial y Silver Strand, mismas que han sido cerradas ocasionalmente a los bañistas en época de verano (Sánchez-Rodríguez, 1990). Sin embargo estudios realizados por Segovia-Zavala *et al.* (1995) mostraron que el efecto de la planta de tratamiento de Punta Bandera hacia el norte es restringido y que la contaminación orgánica-bacteriológica del agua de mar en la línea fronteriza se debe a las descargas no puntuales en Playas de Tijuana y a los escurrimientos por lluvias provenientes del Estuario Río Tijuana.

Es importante mencionar que la planta de tratamiento El Gallo hasta agosto de 1999 trataba parcial e ineficientemente las aguas residuales de la ciudad de Ensenada. Estudios realizados en la misma indican que su descarga residual al mar constituía una fuente de contaminación orgánica para la zona costera (Morales-Chávez, 1984), en particular para las playas aledañas, por tanto no es extraño que en el presente estudio la estación 3400 excediera los límites de todos los indicadores durante los dos períodos de muestreo, ya que ésta se ubica en el punto cero de la descarga. Es de destacar que actualmente la contaminación microbiológica en esta zona ha disminuído

substantialmente (Macías-Zamora, 2001; Seañez-Reyes, 2001) ya que en septiembre de 1999 fue inaugurada la planta de tratamiento de aguas residuales El Naranjo, la cual tiene una capacidad de 500 l/s y una eficiencia del DBO, DQO y sólidos sedimentables del 95% y que en conjunto con las plantas de tratamiento El Gallo y El Sauzal tratan el 100% de las aguas residuales de la ciudad de Ensenada.

En comparación con las descargas, las playas arenosas excedieron los estándares de calidad en un menor porcentaje, siendo del 25.3% en verano y del 17% en invierno. Sin embargo, son más altos que los encontrados en las playas de California, Estados Unidos (Noble *et al.*, 2000b; Noble *et al.*, 2001) y se debe a que algunas playas arenosas **3361(Real del Mar), 3362 (San Antonio del Mar), 3383(CONALEP) y 3384 (Ciprés)** se ven influenciadas por descargas de aguas residuales. Por ejemplo durante el verano las estaciones **3361(Real del Mar) y 3362 (San Antonio del Mar)** ubicadas al sur de la descarga de Punta Bandera, presentaron altas concentraciones de bacterias coliformes, debido a que el agua del efluente ubicado en la costa tiende a ser transportada y dispersada por las corrientes litorales. Álvarez-Sánchez *et al.* (1990) reportan un flujo de la corriente de norte a sur durante la mayor parte del año con algunas inversiones en verano y con un coeficiente de difusión turbulenta en dirección paralela a la costa de $10^5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Los resultados de este estudio concuerdan con los reportados por Morales Chávez (2000) quien encontró concentraciones elevadas de bacterias coliformes al sur de la descarga de Punta Bandera.

Por su cercanía a la descarga conjunta de El Gallo-Naranjo las estaciones **3383 (CONALEP)** y **3384 (Ciprés)** presentaron durante el verano concentraciones elevadas de bacterias coliformes, las cuales sobrepasaron los estándares establecidos para aguas de uso recreativo, concordando con resultados anteriores obtenidos en la misma zona (Orozco-Borbón y Gutiérrez Galindo, 1983; Jiménez-González 1989). Aunque es importante mencionar que la calidad bacteriológica de estas playas arenosas mejoró desde la inauguración de la planta de tratamiento El Naranjo (Seañez-Reyes, 2001).

La alta correlación encontrada entre las concentraciones de bacterias coliformes totales y fecales en ambos períodos de muestreo se debe a que las coliformes fecales representan un subgrupo de las coliformes totales. Los enterococos se correlacionaron en un menor grado con las bacterias coliformes porque pertenecen a grupos diferentes, siendo los enterococos un subgrupo de los estreptococos fecales. Este mismo comportamiento fue encontrado en los estudios microbiológicos de la zona costera entre Punta Concepción California y San Diego California por participantes del Proyecto BIGHT' 98 (Noble *et al.*, 2001).

En invierno los enterococos excedieron los estándares establecidos en un mayor porcentaje, este hallazgo es consistente con lo encontrado en otras regiones, incluyendo la zona costera de California (Nuzzi y Burhans, 1997; Noble *et al.*, 2000 b). Esto se debe probablemente a que el estándar de enterococos es más sensible para detectar contaminación bacteriológica que el de coliformes, lo cual concuerda con nuestras observaciones entre indicadores, o bien que los enterococos sobreviven más tiempo en el

medio ambiente marino ya que se ha demostrado que son más resistentes al estrés del agua de mar que las bacterias coliformes (Hartke *et al.*, 2002). Se ha reportado además que son mejores indicadores de contaminación que las bacterias coliformes porque se correlacionan mejor con la gastroenteritis adquirida por nadar en aguas contaminadas (Cabelli *et al.*, 1982 ; Dufour, 1984).

De acuerdo con los resultados obtenidos las estaciones **3396 (El Descanso)**, **3369 (Misión Viejo)**, **3397 (La Misión)**, **3372 (Km 71)**, **3370 (Las Olas)**, **3390 (Baja Beach)** y **3389 (Boca del Estero)** fueron zonas seguras para actividades recreativas tanto en invierno como en verano mientras que el resto de las estaciones no, por ser impactadas por las descargas de plantas de tratamiento de la ciudad de Tijuana y Ensenada, así como de descargas no puntuales. Se espera que la calidad microbiológica de las playas arenosas y descargas en el litoral de Ensenada mejore debido al funcionamiento de la Planta de Tratamiento El Naranjo. Sin embargo para asegurar la calidad microbiológica de la zona costera noroccidental de Baja California es necesario establecer un programa de monitoreo permanente y continuar con este tipo de análisis de manera rutinaria además de tener un control efectivo de descargas no puntuales en la línea de costa.

CONCLUSIONES

- ❖ La calidad bacteriológica de las playas fue mejor en invierno que en verano, debido a que el 83 % de la línea de costa cumplió con los estándares de calidad, mientras que en verano solo fue del 75%.
- ❖ Las áreas cercanas a las descargas como era de esperar mostraron la peor calidad microbiológica, ya que el 50% en invierno y el 67% en verano no cumplieron con los estándares de calidad.
- ❖ Los enterococos mostraron ser mejores indicadores de contaminación que los coliformes totales y fecales.

REFERENCIAS

- Álvarez-López, J. (1990). Medio ambiente y contaminación en el desarrollo de Baja California. Memoria del Congreso Estatal Profesional sobre el Desarrollo de Baja California. UABC y Asociación de Jóvenes Profesionistas de B.C. 309-317.
- Álvarez-Sánchez L.G., Godínez V.M. y Lavín M.F. (1990). Dispersión en la franja costera de Tijuana, Baja California. *Ciencias Marinas*, 16(4): 87-109.
- American Public Health Association (APHA). (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Edition. Edited by A.D. Eaton, L.S. Clesceri, and A.E. Greenberg. Washington, D.C., 9-49.
- Cabelli, V.J., A.P. Dufour, L.J. McCabe And Levín M.A. (1982). Swimming-Associated gastroenteritis and water quality. *American Journal of Epidemiology* 115:606-616.
- Comisión Nacional del agua (1999). Gerencia Estatal de Baja California, Subgerencia de Administración del Agua, Unidad de Ingeniería de Ríos y Aguas Superficiales, Zona-Ensenada, B.C.
- Delgadillo-Hinojosa, F y Orozco-Borbón, M.V (1987). Bacterias patógenas en sedimentos de la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas*; 13(3): 31-38.

- Dufour, A.P.(1984). Bacterial indicators of recreational water quality. Canadian Journal of Public Health 78:49.
- Godínez Sandoval, V.M (1986). Dispersión frente a la costa de Rosarito, B.C. Tesis de Licenciatura., Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C, Ensenada, B.C.
- Hartke, A.S. Lemarinier, V. Pichereau and Auffray Y. (2002). Survival of enterococcus faecalis in seawater microcosms is limited in the presence of bacterivorous zooflagellates. Current Microbiology Vol 44 : 329-335.
- Jiang, S., Noble R. and Weiping, Ch. (2001). Human adenoviruses and coliphages in urban runoff-impacted coastal waters of Southern California. Applied and Environmental Microbiology Vol 67(1):179-184.
- Jiménez-González, R (1989). Contaminación fecal en las principales playas de uso recreativo de la Bahía de Todos Santos, durante la estación de verano. Tesis de Licenciatura, E.S.C., U.A.B.C. Ensenada,B.C.
- Macías-Zamora, V (2001). Reporte realizado para la Comisión de Colaboración Ambiental (CCA).
- Morales-Chávez, R (2000). Distribución de aguas residuales en la zona costera entre Playas de Tijuana y Rosarito B.C. Informe Técnico Estación Oceanográfica de Ensenada,

- Morales-Chávez, R (1984). Colimetría en descarga de aguas industriales, domésticas y en la zona de rompientes de la Bahía de Todos Santos. Baja California. Tesis de Licenciatura, E.S.C.M., U.A.B.C., México.
- Natural Resources Defense Council (NRC). (1990). Monitoring Southern California's Coastal Waters. Nacional Academy Press. Washington, DC.
- Negrete-Hurtado, H., D. Pérez y W. Wilhelmy. (1980). Ordenamiento del territorio municipal de Tijuana. Tesis Profesional para obtener la Licenciatura en Arquitectura. UABC. Mexicali, B.C. 200 ps.
- Noble, R.T., Dorsey, J.H., Leecaster, M.L., Orosco-Borbón, M.V., Reid, D., Schiff, K.C. and Weisberg, S.B.(2001). A regional survey of the microbiological water quality along the shoreline of the Southern California Bight, pp 218-225 in: S.B. Weisberg and D. Elmore (eds). Southern California Coastal Water Research Project Annual Report 1999-2000. Westminster, Ca.
- Noble, R.T., Dorsey, J.H., Leecaster, M.K., Mazur M., Mcgee C.D., Moore D., Orozco-Borbón M.V., Reid D., Schiff K., Vainik P.M. and Weisberg S.B. (2000a). Southern California Bight 1998 Regional Monitoring Program: Storm Event Shoreline Microbiology. Southern California Coastal Water Research Project. Westmister, CA., 64 ps.

Noble, R.T., Dorsey J.H., Leecaster M.K., Mazur M., McGee C.D., Moore D., Orozco-Borbón M.V., Reid D., Schiff K., Vainik P.M. and Weisberg S.B. (2000b). Southern California Bight 1998 Regional Monitoring Program: 1. Winter Shoreline. Southern California Coastal Water Research Project. Westminster, C.A., 78 ps.

NOM-001-ECOL-1996, "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales". Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Diario Oficial, 6 de enero de 1997.

Nuzzi, R., and Burhans, R (1997). The use of enterococcus and coliforms in characterizing bathing-beach waters. *Journal of Environmental Health* 60:16-22.

Orozco-Borbón, M.V., Rico-Mora, R y Ornelas-Pérez, A (2000). Monitoreo bacteriológico en la región costera fronteriza México- Estados Unidos. XII Congreso Nacional de Oceanografía. Huatulco Oaxaca, México del 22-26 de mayo.

Orozco-Borbón, M.V, Rico-Mora, R y Ornelas-Pérez, A (1998). "Totalmente confirmada la contaminación en playas" Nota periodística del Semanario Zeta. 23 al 29 de octubre.

Orozco-Borbón, M.V y Delgadillo-Hinojosa, F (1989). Contaminación fecal en sedimentos superficiales de la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas*, 15(1): 47-62.

- Orozco-Borbón, M.V y Sañudo-Wilhelmy, S.A. (1988) Estudio de coliformes, estreptococos y bacterias patógenas a lo largo de la costa de Baja California. Ciencias Marinas, 14(3):1-8.
- Orozco-Borbón, M.V. y Gutiérrez-Galindo, E.A. (1983). Contaminación fecal costera en la zona del puerto de Ensenada, B.C. Ciencias Marinas, 9(1):27-34.
- Patrón-Mas, M.D. (1992). Contaminación bacteriana en sedimentos superficiales marinos de la región fronteriza México-Estados Unidos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, UABC. Ensenada, B.C. 60 ps.
- Peña-Manjarréz, J.L (1989). Contribución al estudio de fuentes de contaminación por materia orgánica y sus aportes a la Bahía de Todos Santos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, UABC. Ensenada B.C.
- Quero-Santiago, R. (1992). Contaminación bacteriológica en la costa noroccidental de la frontera México-Estados Unidos. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC. Ensenada, B.C. 73 ps.
- Sánchez-Rodríguez, (1990). El medio ambiente como fuente de conflicto en la relación binacional México-Estados Unidos. Colegio de la Frontera. Tijuana, B.C. 81 ps.

- Sañudo-Wilhelmy, S.A y Suárez-Vidal, C.E (1984). Temporal variation of the organic load in the wastewater of the city of Tijuana, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 10(2): 119-128.
- Sañudo-Wilhelmy.S.A. (1983). Estimación de la carga orgánica de la ciudad de Tijuana, B.C. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC. 81 ps.
- Seañez-Reyes, R (2001). Aislamiento de bacteriófagos y su aplicación en la contaminación de la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Marinas, UABC. Ensenada, B.C.
- Secretaría de Marina. (1974). Estudio geográfico de la región de Ensenada, B.C. Dirección General de Oceanografía y señalamiento Marítimo. México, D.F., 465 ps.
- Segovia-Zavala. J. A ; Orozco- Borbón, M.V; Muñoz-Barbosa, A. and Canino-Herrera, S.R.. (1995). Distribution of BOD and bacteria along the coast of the US-México border. *Ciencias Marinas*, 21(4):415-426.
- Segovia-Zavala, J.A y Orozco-Borbón, M.V. (1986). Calidad bacteriológica del agua de mar en la zona costera noroccidental de Baja California. *Ciencias Marinas*, 12(1): 93-102.

Segovia-Zavala, J.A y Galindo-Bect,M.S (1984). Fuentes de contaminación por materia orgánica a la Bahía de Todos Santos Baja California: I Caracterización y eficiencia de la planta de tratamiento de aguas negras de la ciudad de Ensenada, Baja California. Ciencias Marinas 10(1):19-26 .

Segovia-Zavala, J.A (1984) Estudio de contaminación por materia orgánica en la zona industrial de el Sauzal Baja California. Tesis de Licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C.

Thompson, S.K (1992). Sampling. Wiley & Sons. New York, N.Y.

United States Department of the interior. Bureau of Land Management. (1979). Final Environmental Statement OCS Sale. 1(48):1050.

(USLA)United States Lifesaving Association. (1998). National lifesaving statistics.

ANEXOS

ANEXO 1. Resultados de coliformes totales de verano, 1998.

ESTACIÓN	PROMEDIO CT 100 ML ⁻¹	MÁXIMO	MÍNIMO	DESV. EST.	E. EST.
3391	596	1100	80	381	170
3371	2422	9000	40	3740	1673
3392	41,000	160000	4000	66914	29925
3361	1380	1600	500	492	220
3362	570	1600	30	673	301
3363	122	280	7	128	57
3364	144	240	8	978	44
3365	205	900	8	390	174
3393	235	500	13	244	109
3394	316	900	80	340	152
3366	48,300	160000	200	65836	29443
3367	55	170	11	65	29
3395	238	500	20	206	92
3368	9	30	2	12	5
3396	334	1600	13	708	317
3369	187	900	2	399	178
3397	99	240	4	129	57
3372	64	300	2	132	59
3370	9	27	2	11	5
3398	362	900	30	354	158
3399	523	1400	13	573	256
3400	685,600	1600000	8000	733183	327889
3383	34,380	160000	200	70287	31433
3384	32,568	160000	200	71245	31862
3385	190	800	2	343	154
3386	112	300	2	119	53
3390	23	50	11	16	7
3389	2	2	2	0	0
3387	51	170	4	67	30

ANEXO 2.- Resultados de coliformes fecales en verano, 1998.

ESTACIÓN	PROMEDIO CF 100 ML ⁻¹	MÁXIMO	MÍNIMO	DESV. EST.	E. EST.
3391	424	1300	40	411	184
3371	2422	220	110	3740	1673
3392	36,200	2000	20	69291	30988
3361	1380	50000	1300	492	220
3362	563	1700	20	680	304
3363	122	1600	7	128	57
3364	67	900	8	64	29
3365	195	1600	4	395	177
3393	167	300	170	204	91
3394	306	80	20	344	154
3366	13,720	800	2	13519	6046
3367	47	900	2	69	31
3395	172	500	2	199	89
3368	8	240	13	12	6
3396	109	22	2	219	98
3369	106	30	2	220	99
3397	75	13	4	108	48
3372	64	70	2	132	59
3370	6	4	2	6	2
3398	198	24000	1600	186	83
3399	203	2300	2	137	61
3400	524,800	5000000	170000	648718	290116
3383	33,580	230	2	706834	31611
3384	32,528	200	2	71268	31872
3385	184	220	2	345	154
3386	67	17	2	101	45
3390	23	2	2	16	7
3389	2	2	2	0	0
3387	49	240	2	69	31

ANEXO 3.- Resultados de coliformes totales en invierno,1999.

ESTACIÓN	PROMEDIO CT 100 ML ⁻¹	MÁXIMO	MÍNIMO	DESV. EST.	E. EST.
3391	796	2200	130	930	416
3371	874	3000	200	1194	534
3392	1680	2600	200	958	428
3361	18680	50000	2400	19430	8689
3362	1308	5000	40	2078	929
3363	839	2400	17	1097	491
3364	468	1600	30	644	288
3365	379	1600	8	690	308
3393	514	1100	170	356	159
3394	248	500	60	182	81
3366	320	800	200	268	120
3367	1964	5000	20	1915	857
3395	616	1600	2	657	294
3368	526	1600	13	706	316
3396	16	27	2	10	4
3369	32	80	2	29	13
3397	16	30	4	12	6
3372	16	70	2	30	14
3370	4	7	2	2	1
3398	25200	90000	1600	36896	16500
3399	1360	5000	2	2066	924
3400	3660000	16000000	300000	6900942	3086195
3383	210	700	2	284	127
3384	56	200	2	81	36
3385	76	220	20	84	38
3386	11	30	4	11	5
3390	2	4	2	1	0.4
3389	6	23	2	9	4
3387	62	240	2	101	45

ANEXO 4.- Resultados de coliformes fecales de invierno, 1999.

ESTACIÓN	PROMEDIO CF 100 ML ⁻¹	MÁXIMO	MÍNIMO	DESV. EST.	E. EST.
3391	396	1100	80	519	232
3371	186	9000	40	43	19
3392	624	160000	2000	810	362
3361	17120	1600	500	198921	8896
3362	492	1600	23	700	313
3363	517	280	7	686	307
3364	224	170	2	381	170
3365	377	900	4	691	309
3393	260	500	13	59	26
3394	48	900	80	30	14
3366	241	30000	200	328	147
3367	484	170	7	379	170
3395	199	500	20	207	93
3368	105	30	2	124	55
3396	11	500	2	8	4
3369	11	500	2	12	5
3397	6	240	2	4	2
3372	16	300	2	30	14
3370	2	13	2	0.89	0.4
3398	12000	500	80	9699	4338
3399	620	400	13	949	425
3400	1162000	1600000	4000	2146246	959830
3383	98	160000	200	108	48
3384	52	160000	200	85	38
3385	59	800	2	92	41
3386	7	240	2	6	3
3390	2	50	11	0	0
3389	2	2	2	0	0
3387	61	170	2	102	46

ANEXO 5.- Resultados de enterococos en invierno, de 1999.

ESTACIÓN	PROMEDIO ENTEROCOCOS 100 ML ⁻¹	MÁXIMO	MÍNIMO	DESV. EST.	E. EST.
3391	144	201	74	58	26
3371	132	306	20	116	52
3392	87	201	10	80	36
3361	912	2005	137	724	324
3362	84	165	43	47	21
3363	89	165	38	53	24
3364	90	165	36	55	25
3365	69	101	43	26	11
3393	145	201	62	58	26
3394	50	109	9	39	18
3366	25	50	0	18	8
3367	36	74	16	23	10
3395	70	118	12	44	20
3368	30	38	21	6	3
3396	18	21	11	4	2
3369	25	36	19	7	3
3397	31	48	15	14	6
3372	20	43	1	17	8
3370	37	62	10	24	11
3398	1283	2005	201	988	442
3399	582	2005	100	811	363
3400	96420	200500	2050	97216	43476
3383	24	41	0	18	8
3384	36	89	0	34	15
3385	148	201	21	80	36
3386	43	56	27	11	5
3390	23	45	10	15	7
3389	24	32	10	9	4
3387	70	130	43	34	15